



**Proyecto 3 - Conceptualización, Análisis de Datos de Entrada, Validación y Verificación y
Análisis de Políticas**

Industriales & Asociados

Cáceres Parra, Nicolás Joel (273195),

Castro López, Catalina Andrea (286779),

López Angarita, Sara Juliana (281222),

Rodríguez Cortes, Sebastián David (246348),

Tabares David, Néstor Andrés (287880),

Valderrama Acosta, Mauricio Andrés (251802)

Chía, Cundinamarca.

18 de mayo de 2025

Universidad de la Sabana, Facultad de ingeniería

Introducción

La simulación de eventos discretos (SED) es una herramienta bastante útil para analizar y comprender los procesos en sistemas donde las operaciones ocurren en tiempos determinados pero su duración es condicional e incierta. En este caso de estudio, se aplicará SED para modelar el funcionamiento del sistema elegido, el cual fue la heladería de Crepes & Waffles del centro comercial Centro Chía ubicado en Chía, Cundinamarca. Este informe tiene como objetivo conceptualizar y formular mediante el framework sugerido por Robinson (2008, 2008b) con el fin de que este pueda llegar a ser un modelo válido, creíble, útil y factible, lo que permitirá explorar problemáticas y evaluar el rendimiento de esta heladería en su estado actual.

Revisión de la Literatura

La utilización de la SED para entender el flujo y gestión de un sistema de colas con un único servidor es un tema que ha sido ampliamente estudiado, con la ventaja que estos estudios son escalables a empresas medianas y pequeñas. En este contexto, la simulación se destaca como una de las mejores maneras de realizar dichos cambios sobre una representación teórica y digital, en donde se puede experimentar a un menor costo de tiempo y recursos, en comparación con hacerlo en el sistema real (Robinson, 2008a). La simulación suele ser vista como una herramienta de optimización y análisis de sistemas complejos, enfocado en obtener respuestas cuantificables (Law, 2003). Independientemente del enfoque, es recomendado que para cualquier proyecto de simulación se debe tener una estructura o marco de trabajo, de tal manera que se pueda llegar a construir un modelo dinámico que permita experimentar y tomar decisiones informadas a partir de la simulación iterativa de estos sistemas (Robinson, 2008b).

Un ejemplo de aplicación es el estudio realizado por Heredia, Ceballos y Sánchez (2019) de la Universidad de Antioquia, en la cual se utilizó la SED para el proceso de atención al cliente de una Pyme en el sector de alimentos de comidas rápidas, con el fin de evaluar el sistema y generar estrategias de optimización. El estudio se organizó en cuatro etapas principales: definición del problema, conceptualización del modelo, generación y verificación del modelo, análisis de resultados y estrategias de mejoras. Mediante la conceptualización del modelo y un proceso de toma de datos se encontraron cuellos de botella y se recomendaron medidas para evitarlos.

Así mismo, Robinson (2008a, 2008b) realizó un proyecto de simulación para la planta de ensamblaje de la Ford Motors Company en Reino Unido, donde realizó dos modelos, uno para

coordinar la demanda de piezas para la línea de ensamblaje y otro para maximizar la capacidad de producción. Si bien no se explora más a fondo en los resultados de dichos modelos, se tratan factores que son importantes al realizar proyectos de esta índole. Por ejemplo, no existe un único modelo conceptual correcto, el procesos de diseño y ejecución de los modelos debe ser circular para permitir flexibilidad y ajustes, el modelo debe ser lo más simple que se pueda, se debe trabajar con un marco de referencia estructurado para garantizar consistencia en el modelo.

En los anteriores ejemplos se puede notar el verdadero valor de las simulaciones SED, dado que permiten llegar a conclusiones o hallazgos sin la necesidad de intervenir el sistema real en ningún momento. Tanto en el caso de estudio de la Pyme, como en Ford, se resalta la importancia de una estructuración adecuada del proyecto, con el fin de definir adecuadamente variables de entrada, indicadores de rendimiento, toma de datos, validación, experimentación y planteamiento de estrategias, de tal manera que si llega a ser necesario modificar el modelo, se pueda hacer de manera ágil y clara.

En resumen, la simulación SED además de permitir modelar un sistema bajo condiciones simuladas, facilita la toma de decisiones estratégicas basadas en evidencia. No obstante, para garantizar consistencia y credibilidad, es importante que se siga una metodología rigurosa para equilibrar entre simplicidad y complejidad el diseño del modelo, con el fin de que ese modelo sea exitoso y adecuado para cumplir con los objetivos planteados.

Conceptualización del Modelo

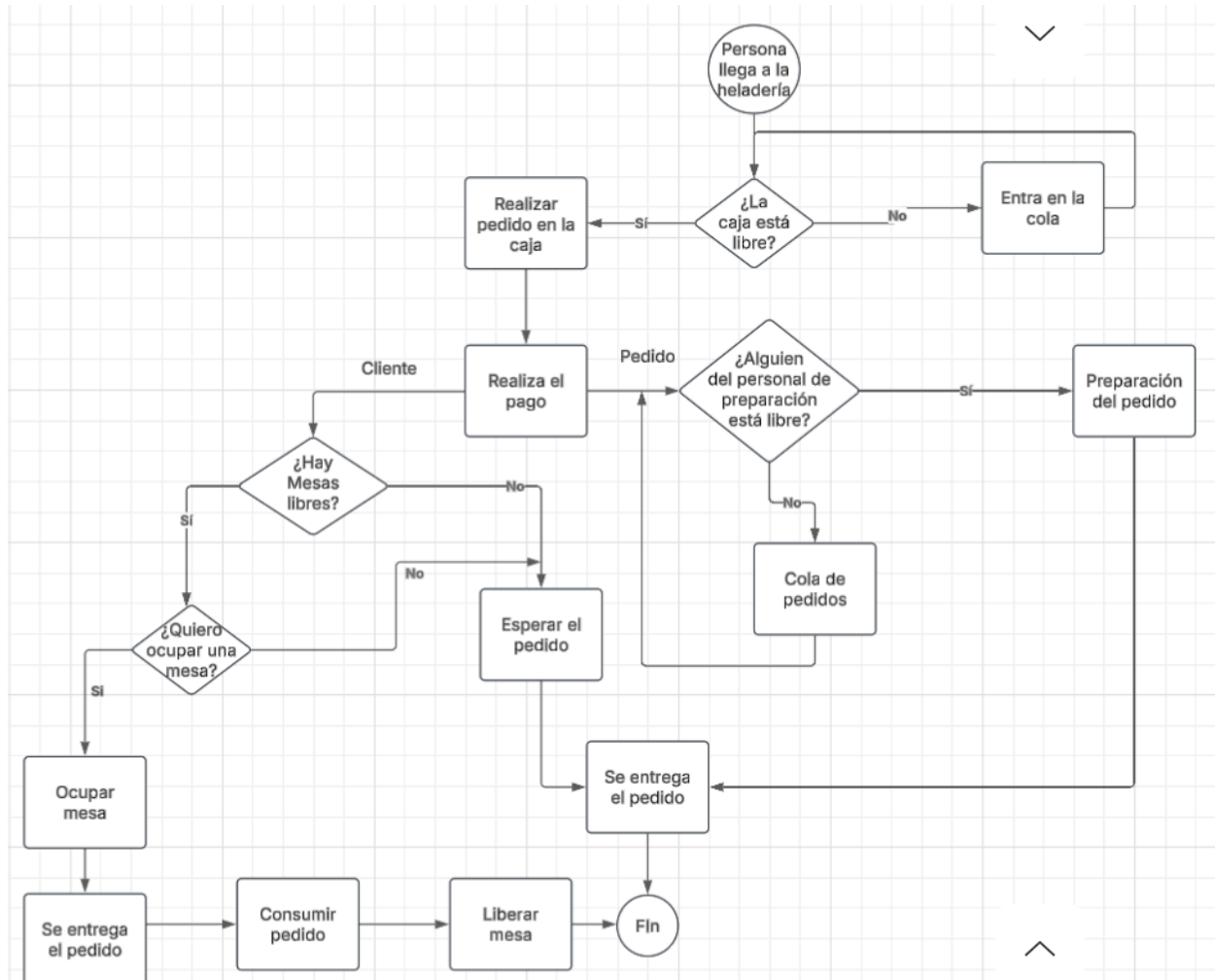
Descripción del Sistema de Estudio

La heladería de Crepes & Waffles que se va a estudiar cuenta con una única caja de atención al cliente, una zona de preparación de alimentos, bordeada por una barra de helados y mesón de granito por donde se entregan los pedidos. En la otra mitad del local, se disponen de 5 mesas tipo bar, con entre 2 a 4 sillas por cada una. El menú de esta heladería consta de cinco tipos de productos: crepes, gofres, bebidas, helados y copas. Los clientes pueden realizar su pedido y consumirlo en las mesas del establecimiento, o pueden recibir su orden y retirarse del lugar. Su problema principal radica en la posible saturación de la caja y las mesas en días y horas pico, lo que genera largos tiempos de espera, posiblemente afectando la calidad del servicio de sus clientes.

Objetivo General

Analizar el funcionamiento de la heladería de Crepes & Waffles en el Centro Comercial Centro Chía, durante los días viernes a domingo en el horario de 12:00 m a 3:00 p.m., mediante la simulación de eventos discretos.

Figura 1. Diagrama de Flujo del Sistema en el Modelo Conceptual.



Fuente. Elaboración propia.

Alcance

El alcance de este proyecto es estudiar las principales actividades, colas y recursos del sistema. Dada la limitación de tiempo y recursos, se busca analizar como mínimo:

- **Flujo de clientes:** Medir el tiempo que un cliente pasa en las actividades y el sistema.
- **Colas:** Evaluar los tiempos de espera en caja, en la entrega del pedido.
- **Ocupación de recursos:** Analizar la eficiencia y la utilización de la caja y las mesas.

Nivel de detalle

El modelo se enfocará en la experiencia del cliente, por esto evaluará aspectos como cuánto tiempo tarda un cliente en el sistema, las colas y actividades operativas. Además se quiere entender si la ocupación de los recursos es baja o si se deberían asignar más recursos, priorizando la experiencia del cliente y la eficiencia operativa del servicio. No se incluirán detalles individuales de los pedidos, como la cantidad de productos por pedido o características demográficas del cliente.

Se clasificaron los productos en cinco categorías generales: copas, gofres, helados, crepes y bebidas. No se simulará cada producto individualmente, sino por categorías, puesto que los productos son similares en lo que es relevante para este modelo, como lo es en los ingredientes y tiempos de preparación.

Limitaciones

El modelo simulará los días de mayor afluencia en la heladería, de viernes a domingo, en la franja horaria de 12:00 m a 3:00 p. m., ya que, según la gerente, es cuando se registra la mayor cantidad de clientes, lo que permite recopilar más datos y analizar los cuellos de botella del sistema. Además, la gerente explicó que la cantidad de empleados en caja y cocina varía en esos días y horarios en comparación con el resto de la semana, lo que hace que el funcionamiento del sistema sea diferente fuera de esta franja pico. La simulación incluirá únicamente los procesos de la heladería desde la llegada hasta la salida del cliente.

- Se modelará un fin de semana estándar, asumiendo que hay suficiente inventario y que las máquinas funcionan correctamente.
- No se considerarán factores como mantenimiento de equipos, capacitación del personal o variaciones en la cantidad de empleados en otras franjas horarias.
- No se incluirán atributos como cantidad de personas por pedido, género o edad, aunque puedan afectar el tiempo en caja.
- No se considerarán variaciones por factores externos como el clima o fechas especiales (San Valentín, promociones, etc.) que podrían afectar la demanda.

Reglas del sistema

- Los clientes deben pagar antes de recibir su pedido. No se permite pago posterior al consumo.

- Se mantiene la capacidad máxima del local según el número de mesas disponibles.
- **Viernes:**
 - **De 11:00 a.m. a 12:00 p.m.:** Una sola empleada atiende simultáneamente las tareas de caja y preparación.
 - Desde las 12:00 p.m. hasta las 4:00 p.m.: Se incorpora una segunda empleada, permitiendo que la primera se dedique exclusivamente a **caja**, mientras la nueva se encarga de la preparación.
- **Fines de semana:**
 - De 11:00 a.m. a 12:00 p.m.: Una empleada en caja y otra en preparación.
 - De 12:00 p.m. a 1:00 p.m.: Se mantiene una empleada en caja y aumentan a dos en preparación.
 - De 1:00 p.m. a 3:00 p.m.: Continúa una empleada en caja y aumentan a tres en preparación.
- Se asume que no hay pausas o descansos del cajero ni del personal de cocina.

Modelo Conceptual

El modelo se forma a partir de un diverso contenido, centrándonos en las 2 entidades que son clientes y pedidos, donde se tomarán diversas variables que entran al sistema catalogadas como entradas, y aquellas que salen del mismo catalogadas como salidas, se mirará el progreso de cumplimiento de diversos objetivos a base de la sucesión de varios eventos y cómo son afectados por las variables que podamos encontrar en el sistema, pero algunas partes serán asumidas o simplificadas para una toma de datos más sencilla.

Contenido del Modelo

Entradas

- **Tiempo entre llegada de clientes:** es el intervalo de tiempo entre la llegada de un cliente y el siguiente, un dato importante para calcular el flujo de clientes en el sistema.
- **Método de pago:** El método que se utiliza para pagar el pedido que realiza el cliente, esto afecta el tiempo de pago y por tanto el tiempo de servicio y el tiempo total del sistema.

- **Funcionamiento del datáfono:** Saber si el datáfono está funcionando o no porque esto puede influir en la fila, en el tiempo de pago y en el tiempo en el sistema.
- **Tiempo de atención de caja:** tiempo que tarda un cajero en atender a un cliente en el proceso de toma de pedido completo.
- **Tiempo de realización de pago:** el tiempo que toma al cliente realizar el pago en caja con medio físico o digital.
- **Cantidad de productos a pedir:** La cantidad de productos que el cliente va a pedir. Esto puede influir en el tiempo de pedido y luego en la preparación del mismo.
- **Categorías de los productos a pedir:** Que tipos de productos se van a pedir esto es importante para los tiempos de preparación.
- **Tiempo de preparación del pedido:** El tiempo que tarda en prepararse el pedido solicitado por el cliente.
- **Tiempo de consumo en mesa:** es el tiempo que el cliente pasa consumiendo su pedido en la mesa (si el cliente decide comer en el local y encuentra una mesa libre)
- **Si se desea esperar el pedido sentado en una mesa o no:** determina si el cliente decide consumir su pedido dentro del establecimiento o si prefiere llevarlo y consumirlo fuera.

Salidas

- **Tiempo esperando en la cola de la caja:** es el tiempo simulado que un cliente pasa esperando en fila para ser atendido en la caja.
- **Tiempo esperando pedido:** tiempo total que el cliente espera a que se le entregue el pedido completo.
- **Tiempo total en el sistema:** tiempo que tarda un cliente desde que llegó a la heladería hasta que se retira de la heladería.
- **Tiempo ocioso del cajero:** tiempo total en el que la caja estuvo libre durante el tiempo de estudio.

Entidades

- **Cliente:** persona o grupo de personas que llega al establecimiento, realiza un pedido y consume el producto.
- **Pedido:** es la solicitud de un cliente que incluye uno o más productos, que paralelamente será preparada y entregada.

Actividades

- **Realizar pedido:** proceso en el que el cliente realiza su orden en la caja.
- **Realizar el pago en caja:** actividad de pagar el pedido en la caja, ya sea en efectivo o medios digitales.
- **Preparación del pedido:** secuencia de pasos durante los cuales el pedido está siendo preparado por el personal de cocina o servicio.
- **Consumir el pedido:** es la acción que realiza el cliente al consumir el pedido en una mesa del establecimiento.

Recursos

- **Cajeros:** empleado encargado de tomar los pedidos, realizar pagos y gestionar la caja.
- **Personal de Preparación:** Empleados que se encargan de la preparación del pedido. Cuando llega un pedido a preparación este recurso se ocupa.
- **Mesas:** elementos donde los clientes pueden consumir su pedido, en el caso de que decidan comer en el lugar.

Eventos

- **Llegada del cliente:** es el evento que marca la entrada de un cliente al sistema, cuando ingresa al local.
- **Inicio de la toma del pedido:** el momento en que el cajero comienza a tomar el pedido del cliente.
- **Terminación de la toma de pedido:** el evento que ocurre cuando el pedido es registrado y el cliente ha terminado de indicar lo que desea comprar.
- **Inicio del proceso de pago:** el momento en que el cliente comienza a pagar por su pedido.
- **Terminación del proceso de pago:** es el evento que ocurre cuando el cliente ha completado su pago y puede retirarse de la caja.

- **Inicio de preparación del pedido:** cuando el personal de cocina o el encargado comienza a preparar el pedido del cliente.
- **Finalización de preparación del pedido:** el momento en que el pedido está listo y ha sido entregado al cliente.
- **Ocupación de una mesa:** evento en el que un cliente se sienta en una mesa que está vacía.
- **Liberación de la mesa:** momento cuando un cliente se levanta de una mesa y no regresa a ella definitivamente.
- **Salir de la heladería:** momento en el que un cliente se retira definitivamente del establecimiento.

Variables

- **Cantidad de personas en cocinas:** Número de personas que están realizando la preparación de pedidos en cocina dependiendo de día y franja horaria.
- **Estado de la Cajera:** Si la cajera también ayuda en la cocina o no.

Simplificaciones

- Tiempos de preparación igual entre productos de la misma categoría: Para no tener que simular cada producto de la heladería porque son alrededor de 40 productos, y además sabiendo que hay productos que cambian solamente el sabor o el empaque lo que no modifica los tiempos por eso se simplificó a 5 categorías.
- No se considerará el número de sillas por mesa solamente si la mesa está libre o no: No se considera la cantidad de clientes por pedido sino se toma como un solo cliente por esto mismo solo se tiene en cuenta la mesa.
- Los clientes no comparten mesa aunque la mesa tenga sillas disponibles: Los clientes no comparten mesa sino cada uno ocupa una mesa, esta simplificación se da para que no sea necesario contar cada mesa y porque además en la realidad es lo más común.
- Un cliente se considera como una o más personas: El cliente se considera el pedido, por lo que cada pedido se considera un cliente.

Supuestos

Tabla 2. Supuestos del Modelo Conceptual

Supuestos	Justificación
-----------	---------------

Los ingredientes e insumos siempre están disponibles.	Se asume que no existen restricciones de inventario ni problemas de abastecimiento. Esto simplifica el modelo al no tener que gestionar pedidos fallidos o retrasos adicionales.
Las máquinas e implementos para la preparación del helado siempre están disponibles.	Evita modelar tiempos de inactividad por fallas o mantenimiento. Permite centrar el enfoque en el flujo de clientes y en la ocupación de mesas, sin agregar complejidad extra por averías.
Todas las personas que llegan a la heladería hacen la fila y esperan hasta ser atendidos sin salirse del sistema.	Excluye el comportamiento de abandono. Ayuda a simplificar el cálculo de tiempos de espera y la longitud de las colas.
No se modela tiempo de limpieza o acondicionamiento de las mesas antes de que otro cliente las ocupe.	Simplifica los tiempos de ocupación, asumiendo que la mesa queda inmediatamente disponible al terminar de comer el cliente anterior.
Los clientes no están dispuestos a esperar por la mesas internas de la heladería	Esto reduce la complejidad del modelo al eliminar una cola de espera para ocupar una mesa. Adicionalmente, el hecho de que todos los alimentos se preparan para llevar y que existen más mesas fuera de la tienda, favorece el hecho que

Medidas de desempeño

Las medidas de desempeño son fundamentales para evaluar la eficiencia de los procesos en un sistema de servicio. Estas medidas serán fundamentales para conocer cómo se desenvuelven las entendidas, actividades y recursos del sistema.

- **Tiempo promedio esperando en la cola de la caja por franja horaria:** Es el valor esperado del tiempo desde que el cliente llega a la heladería hasta que inicia su proceso en caja. Busca entender cuanto tiempo de cola se forma para poder realizar el pedido.
- **Tiempo promedio de realización de pedido en caja:** Es el tiempo promedio que se tarda el cliente desde que llega a la caja hasta que empieza a pagar. Es el tiempo en el que se dan los datos del pedido, incluyendo sus atributos. Busca ver cuál proceso de la caja es el cuello de botella que causa la cola.
- **Tiempo promedio de pago de pedido:** El valor esperado del tiempo de pago, desde que inicia el proceso de pago hasta que le entregan su factura. Tiene como propósito entender si la actividad del pago es un cuello de botella.

- **Tiempo promedio esperando pedido por franja horaria:** El tiempo que el cliente se tarda desde que paga el pedido hasta que le entregan el pedido, busca averiguar si la preparación del pedido es lo que genera las largas filas en la heladería.
- **Tiempo promedio de consumo del pedido:** Es el tiempo esperado en que el cliente se tarda desde que ocupa la mesa hasta que la desocupa. Se quiere medir el porcentaje de utilización de este recurso.
- **Tiempo promedio total en el sistema por franja horaria:** El tiempo promedio que el cliente tarda desde llegar a la heladería hasta que sale de la heladería.
- **Porcentaje de tiempo ocioso del cajero por franja horaria:** Cuánto tiempo el recurso del cajero está desocupado, lo que puede llevar a conclusiones sobre si a futuro convendría tener más cajeros o no.
- **Porcentaje de utilización de personal de cocina por franja horaria:** Cuánto tiempo el recurso de cocina está ocupado. Esta información puede servir para revisar si es necesario realizar modificaciones a la cantidad de personal que hay. También puede ayudar a explicar las largas colas de la heladería.
- **Porcentaje de utilización de las mesas:** Qué fracción del tiempo total de la simulación las mesas están ocupadas. Sirve para tomar decisiones sobre la cantidad de mesas que se deben manejar.

Coherencia en las entradas y variables

- **Tiempo de Arribo:** Es fundamental para determinar la demanda y la dinámica del sistema, ya que controla cuántos clientes ingresan en un periodo determinado. Sin este parámetro, no podría representarse la afluencia real de personas en diferentes franjas horarias.
- **Tiempo de Pedido:** Refleja la interacción inicial entre el cliente y el personal de caja. Es relevante porque, aunque algunas personas ya conocen lo que van a pedir, otras pueden tardar más en elegir, y esta variabilidad influye directamente en la longitud de la cola y el tiempo total de servicio.
- **Tiempo de Pago:** Representa el cierre de la transacción en la caja. Puede variar en función del método de pago (efectivo, tarjeta o bono), también toca tener en cuenta que a veces el datáfono estaba fallando por ende el tiempo de pago aumenta o de la pericia del

cajero. Este componente, junto al tiempo de pedido, determina el tiempo de servicio total en caja y, por ende, la formación de colas.

- **Tiempo de Producto:** Refleja el cuello de botella potencial que puede darse en la zona de preparación, especialmente cuando la demanda de pedidos complejos es alta. Dado que distintos productos requieren diferentes tiempos, capturar esta variabilidad es crucial para estimar el ritmo de salida de los pedidos y la saturación del personal de cocina.
- **Tiempo de Mesa:** Afecta la disponibilidad de mesas. Cuando el tiempo de ocupación es mayor, los clientes que llegan después podrían verse forzados a abandonar el establecimiento si no hay mesas libres. Esta variable es esencial para determinar la rotación de mesas y, el último tiempo del sistema.
- **Método de pago:** Afecta el tiempo de pago porque el proceso para cada método de pago es distinto entre si. Es esencial para poder modelar el tiempo de pago y la utilización de manera correcta.
- **Funcionamiento del datáfono:** Saber si el datáfono está funcionando o no porque esto puede influir en la fila, en el tiempo de pago y en el tiempo en el sistema.
- **Cantidad de productos a pedir:** La cantidad de productos que el cliente va a pedir. Esto puede influir en el tiempo de pedido y luego en el tiempo total del sistema, así como en la utilización del recurso.
- **Categorías de los productos a pedir:** Dependiendo de cada tipo de producto la preparación es distinta y también es distinto el procedimiento por lo que cambia el tiempo de preparación de productos y esto afecta la utilización de recursos y el el tiempo total del sistema.
- **Si se desea esperar el pedido sentado en una mesa o no:** determina si el cliente decide consumir su pedido dentro del establecimiento o si prefiere llevarlo y consumirlo fuera. Esto es relevante para la utilización de mesas.

Validación de Variables

El tipo de producto es importante debido a que se evidenció una variación importante en el tiempo de preparación de los productos, desde un tiempo de cocinado más extenso, a la necesidad de diversos tipos de productos como lo es fruta picada o algún aderezo como crema batida o chocolate derretido. El deseo o intención de tomar una mesa puede afectar el querer el

uso de las mesas cuando estas se encuentren libres. El uso de la mesa es una variable importante al ser un recurso limitado que el usuario puede usar si se encuentra disponible.

El tiempo de llegada nos indica la frecuencia de arribos, además de poder saber solo con los datos si hubo variables como filas, o algún impedimento o demora para que inicie su tiempo de atención.

Validación de Modelo Conceptual

Para garantizar la validez del modelo y la correcta representación del sistema real del restaurante, se tomaron diversas medidas. En primer lugar, se realizó una observación directa del funcionamiento del sistema a la hora de tomar los datos. Adicionalmente, el simulador Arena es un software ampliamente reconocido y verificado en la industria, por lo que tiene un alto grado de confiabilidad técnica. También se consideró de antemano una serie de supuestos que ayudarán a la integridad de la simulación.

Es importante decir que el modelo conceptual se validó al tomar los tiempos, realizar las distribuciones y al observar los problemas que pudo tener el modelo. Por ejemplo se vio que una problemática era que el datáfono no funcionaba bien por lo que se le agregó esa nueva variable para hacer el modelo más acertado. Al realizar la toma de datos de los tiempos de pedidos se verificó que tenía sentido haber hecho la división en 5 categorías de productos porque su preparación era diferente. Aunque al realizar la limpieza se vio que no se consideraron productos como el artesano y se debieron incluir en el modelo conceptual. El tiempo de mesas se vio que era muy raro el caso en el que las personas esperaran su pedido en la mesa por lo que este supuesto se eliminó y se sacó del diagrama. Algunos desafíos que casi no ocurren pero puede ser que ara un proyecto con mayor alcance se tenga en cuenta es que algunas veces las personas reciben su pedido antes de pagarlo.

Análisis de Datos

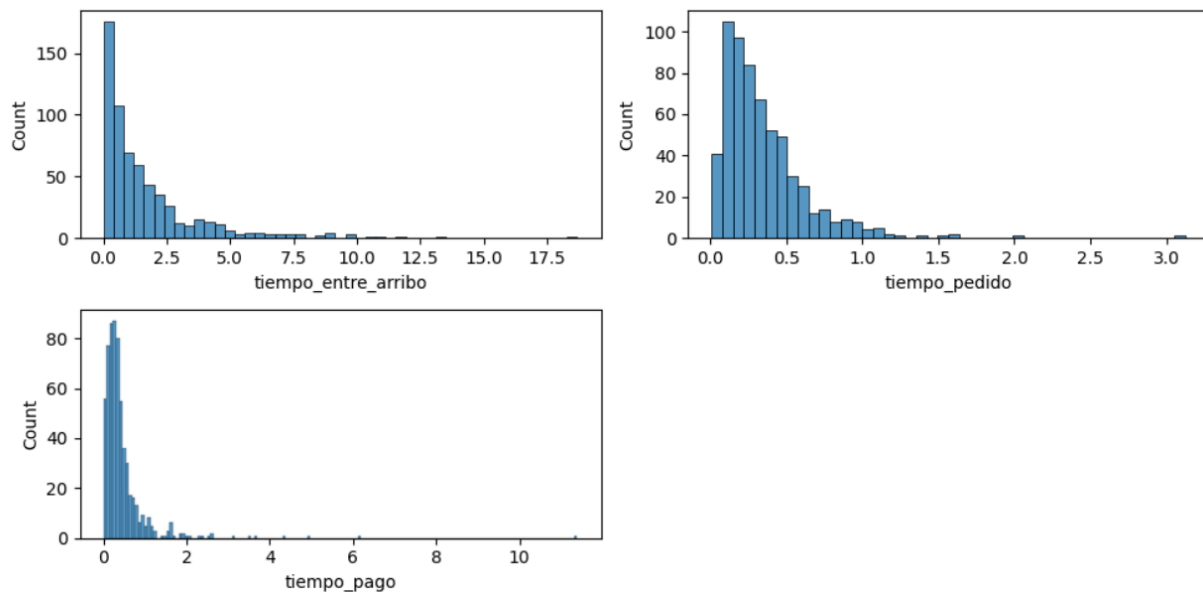
Antes de comenzar a revisar las distribuciones y los datos atípicos se realizó una revisión visual con ayuda de histogramas, pruebas estadísticas como la tukey y anova para poder identificar diferencias en los datos, identificar distribuciones multimodales según categorías que ya se habían definido previamente como en el el caso del tipo de producto o en el caso de tiempo entre arribos en los diferentes días de la semana.

A continuación se observan los histogramas realizados para los tiempos que mostraron una posible distribución exponencia o gamma. En el caso del tiempo entre arribo se ve que

alrededor de los 3 minutos hay otro pico que parece ser que es una binomial lo cual tiene sentido según la diferencia del día de la semana. En cuanto al tiempo de pedido no parece ser multimodal pero si parece que tiene datos atípicos. En el caso del tiempo de pago se pudo ver que hay un pico cercano al dos que puede indicar una multimodal lo cual puede tener que ver con el método de pago empleado.

Figura 2

Histogramas Tiempos entre arribos, pedido y pago

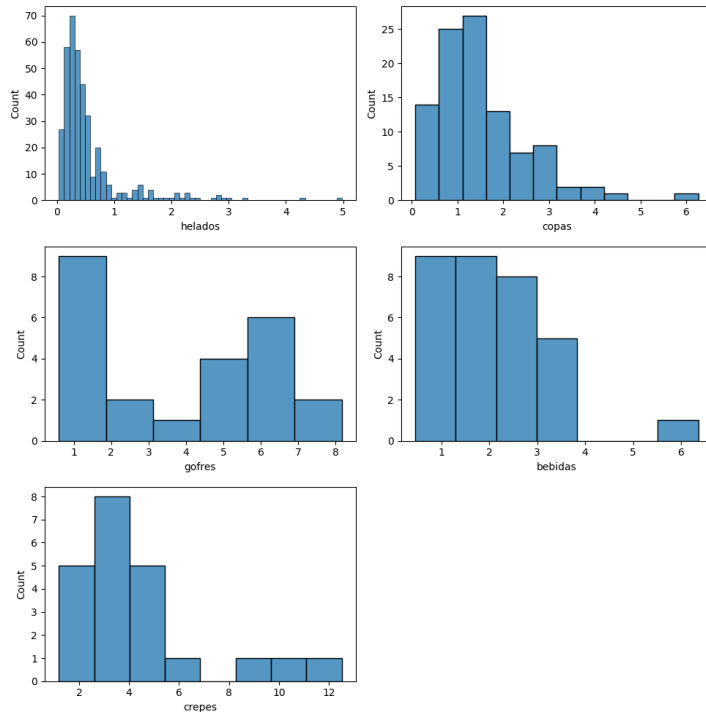


A continuación se realiza la misma revisión pero para el tiempo de preparación de tiempo del pedido en este caso los tiempos ya estaban separados por las categorías que se habían elegido en el modelo conceptual. En el caso de los helados se pudo ver que había varios datos atípicos y que tenía posiblemente varias distribuciones lo cual revisando la herramienta de toma de datos se pudo ver que algunos helados eran artesanos y no copas o vasos lo que podía cambiar el tiempo de preparación por lo que en los helados se realizó esta separación. En las copas y bebidas las distribuciones parecían solo tener una distribución por lo que no se realizó ninguna división en los datos en los gofres se pudo identificar una separación en los datos en el histograma analizando el proceso de preparación de los gofres se dedujo que esto podía deberse a que habían unos gofres preparados con antelación mientras que otros se preparaban al momento, lo que se preparaban al momento tardaban más que los que se habían realizado con antelación. Estos tiempos también se separaron. En los Crepes a pesar de que parecía tener dos distribuciones no se realizó ninguna división en este paso debido a que no se encontró ninguna razón o categoría

para realizar esta división, por lo que se prefirió esperar a pruebas estadísticas y a la identificación de datos atípicos. Por ejemplo, gofres ya hechos para tiempos ≤ 4 minutos y gofres que se necesitan hacer para tiempos > 4 minutos. En helados, también se diferencia entre helados simples tiempos < 1 minuto y helados artesanos ≥ 1 minuto.

Figura 3

Histogramas Tiempos de Preparación



A continuación se presenta una tabla a modo de resumen para ver como se dividieron los datos según el análisis previamente realizado.

Tiempo	Categoría	Subcategoría
Tiempo de Arribo	<ul style="list-style-type: none"> ● Viernes ● Fin de Semana 	Ninguno
Tiempo de Pedido	Ninguno	Ninguno
Tiempo de Pago	<ul style="list-style-type: none"> ● Tarjeta ● Efectivo ● Bono 	Tarjeta <ul style="list-style-type: none"> ● Datafono Funciona ● Datafono no Funciona
Tiempo de Producto	<ul style="list-style-type: none"> ● Helados 	Helados

Tiempo	Categoría	Subcategoría
	<ul style="list-style-type: none"> • Copas • Crepes • Gofres • Bebidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Conos o vasos • Artesano Gofres • Se hace el Gofre • Se calienta el Gofre
Tiempo de Mesa	Ninguna	Ninguna

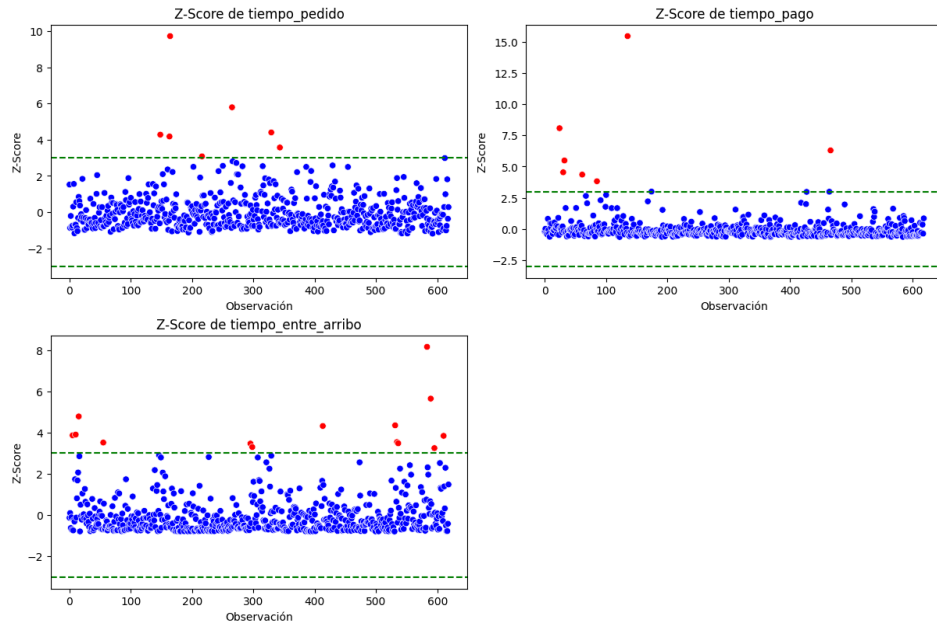
La división de cada variable en categorías y, cuando aplica, subcategorías, responde a la necesidad de representar con mayor precisión la variabilidad de los distintos procesos en la heladería: en el Tiempo de Arribo y Tiempo de Pedido no se hallaron diferencias que justificaran una partición adicional, de modo que se mantuvieron sin categorías; en cambio, el Tiempo de Pago se segmenta en tarjeta, efectivo y bono, y se subdividió la categoría de tarjeta debido a la influencia que ejercen los fallos del datáfono; de igual forma, el Tiempo de Producto difiere considerablemente según el tipo de artículo, y, dentro de los helados existen subcategorías como en los gofres; finalmente, el Tiempo de Mesa no se subdividió. Teniendo en esto en cuenta se realizó la identificación de valores atípicos para cada una de las distribuciones.

Identificación de Outliers

La principal estrategia para detectar valores atípicos en los datos de tiempos fue el uso de gráficos de box-plot, z-score y violín plots. Estos métodos permiten visualizar la distribución, la mediana y la dispersión de cada variable, al tiempo que señalan de manera clara los puntos que se alejan en exceso de la mayoría de observaciones.

Figura 4

Gráficos Z-Score para tiempos

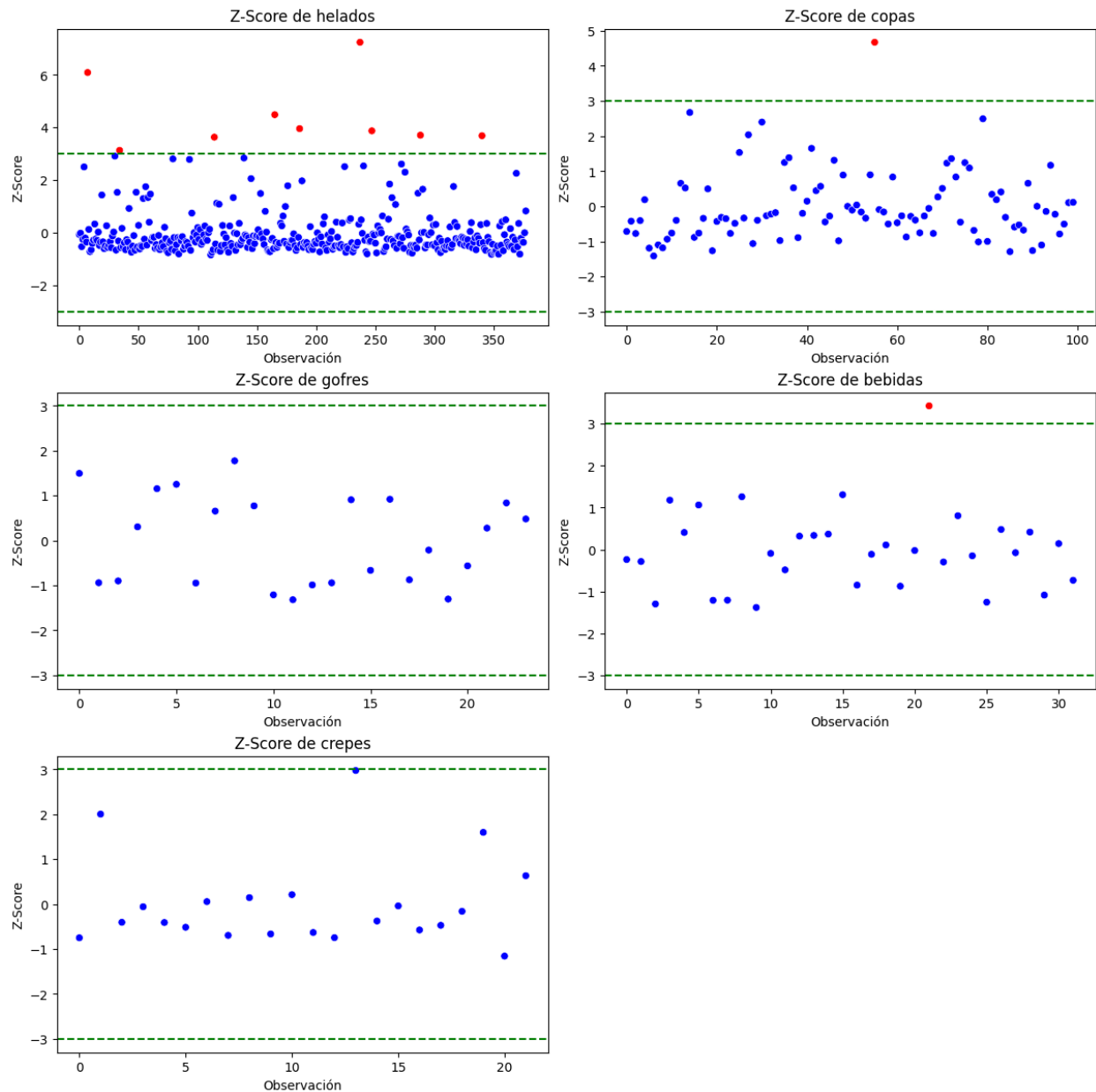


Como se puede apreciar en la gráfica anterior no existen tantos datos atípicos teniendo en cuenta que son alrededor de 30 datos atípicos y se tienen alrededor de 600 datos. Analizando también los gráficos de violín de estas distribuciones se pudo ver que son bastante parejos y en la siguiente sección se explicará como se manejaron estos datos.

Para los tiempos de preparación de producto se realizó una metodología similar. Se utilizaron gráficos de violín y las pruebas z-Score para identificar los outliers. A continuación se ven los resultados.

Figura 5

Gráficos Z-Score para tiempos de preparación



Como se puede ver no hay datos atípicos en la ni en crepes ni en gofres y solo se presenta 1 en bebidas y en copas, lo que puede querer decir que pudo haber algún problema al tomar ese tiempo y fue más un error de medida que del proceso. En el caso de los helados hay más datos atípicos, algunos pueden ser errores de medición o puede ser debido a que algún artesano no se pudo identificar adecuadamente en el paso anterior.

Manejo de los Outliers

En esta sección se presenta un tratamiento de outliers avanzado que no se limita a un recorte global de valores extremos, sino que segmenta los datos según criterios específicos por ejemplo, tipo de método de pago o tipo de producto para garantizar un reemplazo más acertado. Un primer paso consiste en eliminar los registros pertenecientes a IDs claramente identificados como defectuosos o anómalos, de modo que no contaminen las estadísticas, estos se identifican como errores de medición ya sea porque se realizó un comentario a la hora de medir los datos o porque se encontró una razón al revisar quien tomó el dato y de donde salió ese dato.

Una vez limpiados dichos registros, teniendo en cuenta los diferentes segmentos que se realizaron previamente en categorías y subcategorías se realiza el remplazo de valores atípicos para cada uno. En cada segmento, se calculan los límites de outliers mediante el rango intercuartílico IQR; cualquier valor situado por debajo de $Q1 - 1.5IQR$ o por encima de $Q3 + 1.5IQR$ se sustituye por la mediana de ese mismo subconjunto. Este procedimiento se repite para cada categoría y subcategoría usando la mediana en vez de la media debido a la falta de simetría de la mayoría de las distribuciones.

Por otro lado, en el tiempo de producto, se establecen subcategorías para capturar la variabilidad en la preparación como se vio en la sección anterior. Aplicando el mismo enfoque de búsqueda de outliers por IQR y reemplazo con la mediana correspondiente. Para copas, crepes y bebidas, se mantiene el esquema general de detección y sustitución de valores atípicos, porque como se pudo ver antes realmente son muy pocos datos atípicos.

Pruebas Estadísticas

Se realizaron distintas pruebas estadísticas para garantizar la calidad, la veracidad y la confiabilidad de los datos. Para que el modelo se mantenga fiel a la realidad, se hicieron pruebas de análisis de varianza, tukey, estacionariedad para evaluar diferentes factores que pueden influir en la data como lo es el tiempo, quincena, fallos en el sistema de pago, procesos de preparación entre otros.

Estacionalidad

Con el fin de asegurar que el modelo de simulación represente con fidelidad el comportamiento real de la heladería Crepes & Waffles en Centro Chía, se aplicaron pruebas estadísticas avanzadas, específicamente análisis de varianza (ANOVA), para evaluar si existían diferencias significativas en los tiempos operativos según el día de la semana. Estas pruebas permiten justificar de manera rigurosa la segmentación de los datos y la parametrización

diferenciada dentro del modelo. Además garantizan que ninguna distribución multimodal se tome como distribución única. Si la prueba de ANOVA resulta que si hay una diferencia significativa en las medias de los grupos entonces se procede a realizar una prueba TUKEY para poder identificar cual es la que difiere de las demás.

Estas pruebas forman parte de un análisis estadístico avanzado, diseñado para justificar la existencia (o no) de diferencias significativas entre varios días de la semana y, en caso afirmativo, definir cómo subdividir la información para una simulación más precisa. La Tabla 1 sintetiza el y p-value, así como las conclusiones extraídas de cada prueba.

Variable	P (Value)	Interpretación
Tiempo entre arribos	0.0074	Se rechaza la hipótesis nula: existen diferencias significativas. El test Tukey muestra que el viernes y el fin de semana se comportan distinto.
Tiempo de Pedido	0.1674	No se rechaza la hipótesis nula. No hay diferencias significativas. Se realiza una sola distribución para todos los días.
Tiempo de pago (efectivo)	0.050677	Resultado cercano al umbral de significancia $p \approx 0.05$. Sugiere una posible variación ligera entre días, pero no tan marcada como en los arribos.
Tiempo de pago (bono)	0.058	No hay diferencias estadísticamente significativas entre los distintos días.
Tiempo de pago (tarjeta)	0.74062	No hay diferencias significativas. La forma de pago con tarjeta no varía en función del día de la semana.
Tiempo de mesas	0.083725	No se rechaza la hipótesis nula; no se observaron diferencias significativas entre días en cuanto a la duración de permanencia en mesa.

Como se aprecia, se han empleado pruebas ANOVA para determinar si los distintos días de la semana producen variaciones relevantes en los tiempos medidos. Donde se detectó una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo entre arribos y el tiempo de pedido, se utilizó un Tukey HSD para identificar qué pares de días presentaban discrepancias concretas.

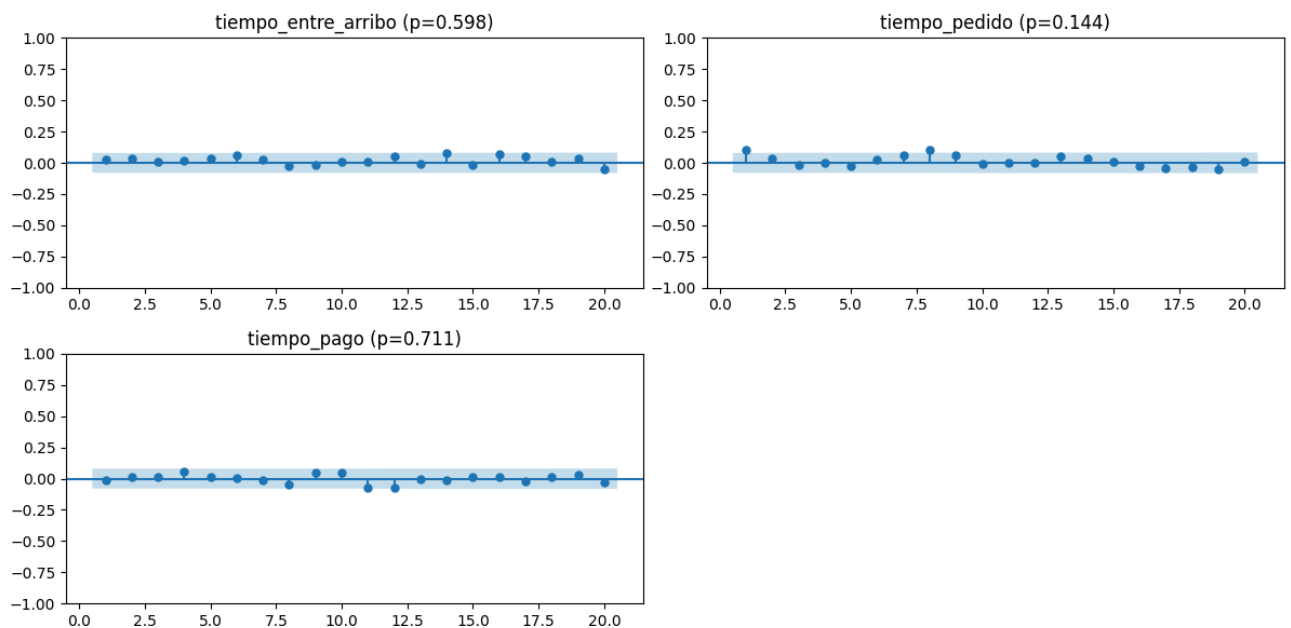
En particular, para el tiempo de arribos y tiempo de pedido se encontraron diferencias significativas entre ciertos días que serían los viernes con los fines de semana, lo que motivó la decisión de dividir el modelado de los arribos en función de la condición viernes vs. fin de semana. De esta manera, se consigue una aproximación más realista, representando adecuadamente el aumento de afluencia que se observa en determinados días y horarios.

Independencia

Se realizan las pruebas de independencia AFC para probar que los datos se distribuyen independientemente para demostrar la aleatoriedad y que el modelo no tenga sesgos. Para los tiempos se usa un rezago de 20 datos, para las demás series de datos se utiliza el rezago como la mitad de la longitud de la cantidad de datos de la serie.

Figura 6

Gráficos prueba AFC Tiempos

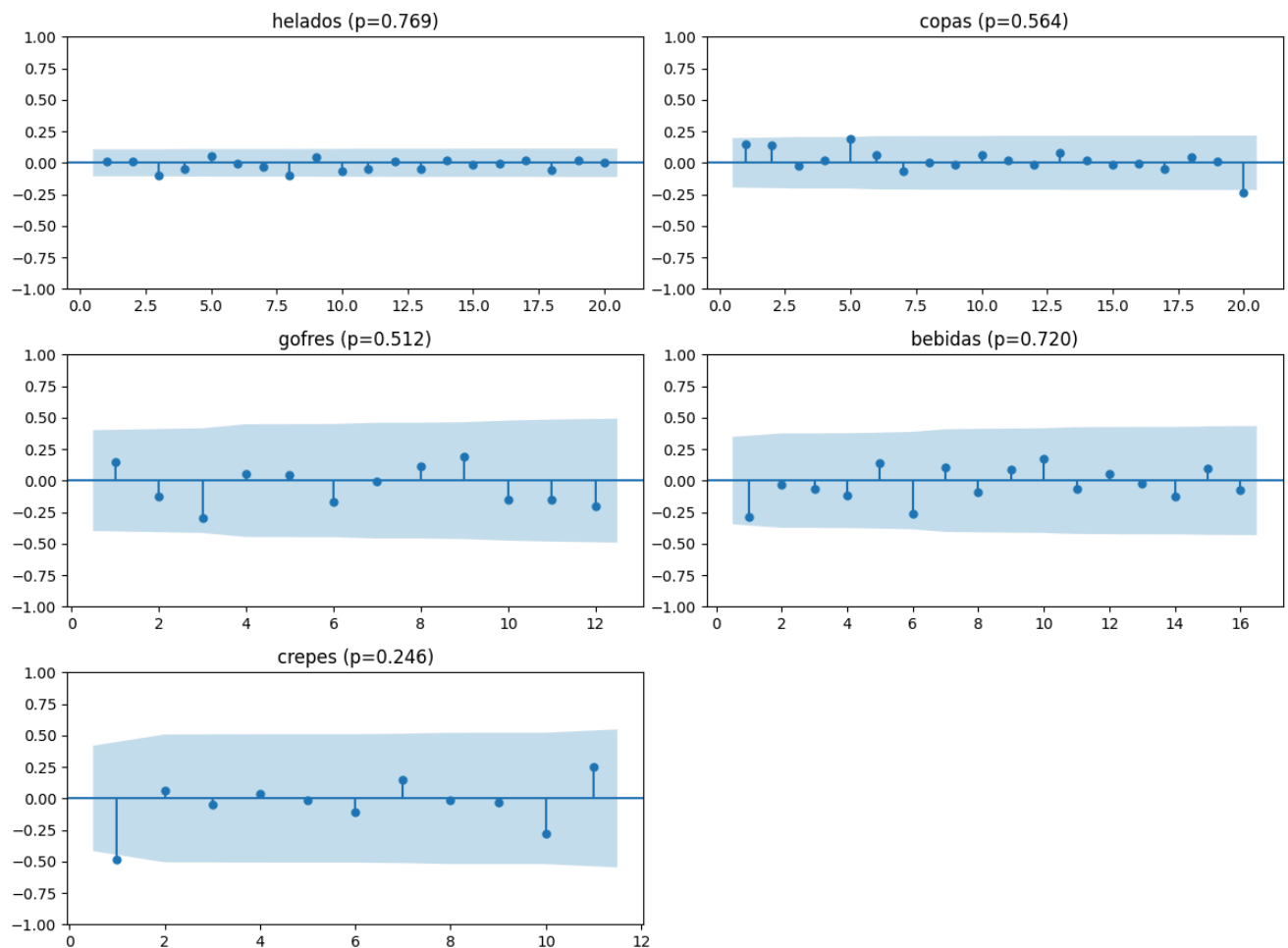


Como se puede ver en la figura 6 los tiempos si son independientes entre si, todos los valores p son superiores a 0.05 por lo que se acepta la hipótesis nula de que no hay autocorrelación. Esto indica que los datos pueden usarse sin realizar ningún tipo de ajuste. A continuación se realiza la misma prueba para los tiempos de preparación por producto. En la figura 7 se puede apreciar que los valores p de la prueba AFC son mayores a 0.05 por lo que se

acepta la hipótesis nula y los datos no tienen autocorrelación por lo que igual que en el caso anterior pueden usarse sin problema.

Figura 7

Gráficos prueba AFC por Productos



Como se pudo ver en esta sección antes de realizar la detección de valores atípicos, se llevó a cabo un análisis exploratorio mediante histogramas y pruebas estadísticas como ANOVA y Tukey, lo que permitió identificar diferencias significativas entre categorías previamente definidas (tipo de producto, día de la semana, método de pago, etc.). Este análisis evidenció la necesidad de segmentar algunas variables, como el tiempo de pago (por método) y el tiempo de preparación (por tipo y subcategoría de producto), mientras que otras, como el tiempo de arribo y

tiempo de pedido, no mostraron variaciones suficientes para justificar divisiones adicionales. La identificación de valores atípicos se realizó con métodos gráficos y estadísticos robustos, como boxplots y z-score, permitiendo detectar outliers en un bajo porcentaje de los datos, los cuales fueron tratados mediante eliminación o sustitución por la mediana de su respectivo subgrupo para preservar la representatividad de las distribuciones.

Además, se evaluó la estacionalidad mediante pruebas ANOVA, identificando diferencias significativas únicamente en el tiempo entre arribos según el día de la semana, mientras que el resto de las variables no mostró estacionalidad marcada. Las pruebas de autocorrelación confirmaron la independencia de los datos, garantizando su aleatoriedad y validez para la modelación posterior. En conclusión, el proceso de análisis, segmentación y depuración de datos permitió obtener un conjunto de información confiable y ajustado a la realidad operativa, sentando las bases para desarrollar un modelo de simulación representativo de los procesos en la heladería Crepes & Waffles.

Distribuciones Seleccionadas

Continuas

Para seleccionar las distribuciones más adecuadas para cada variable del modelo, se aplicó un proceso sistemático que incluyó el ajuste de varias distribuciones candidatas entre las cuales están normal, gamma, lognormal, weibull, entre otras, usando el método de máxima verosimilitud. Luego, se evaluó el ajuste mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, seleccionando aquella con el mayor p-valor como la mejor opción pero también teniendo en cuenta la cantidad de parámetros a estimar y la dificultad de modelar en arena. Este paso es fundamental en la simulación, ya que permite representar con precisión la variabilidad y el comportamiento probabilístico real de los procesos observados como tiempos de arribo, preparación, pago, entre otras. Además, se realizaron QQ-plots y simulaciones para verificar si las distribuciones generaban datos con medias estadísticamente iguales a las reales, utilizando pruebas de hipótesis al 95% de confianza, confirmando así la validez de los modelos seleccionados como se muestra en la siguiente tabla.

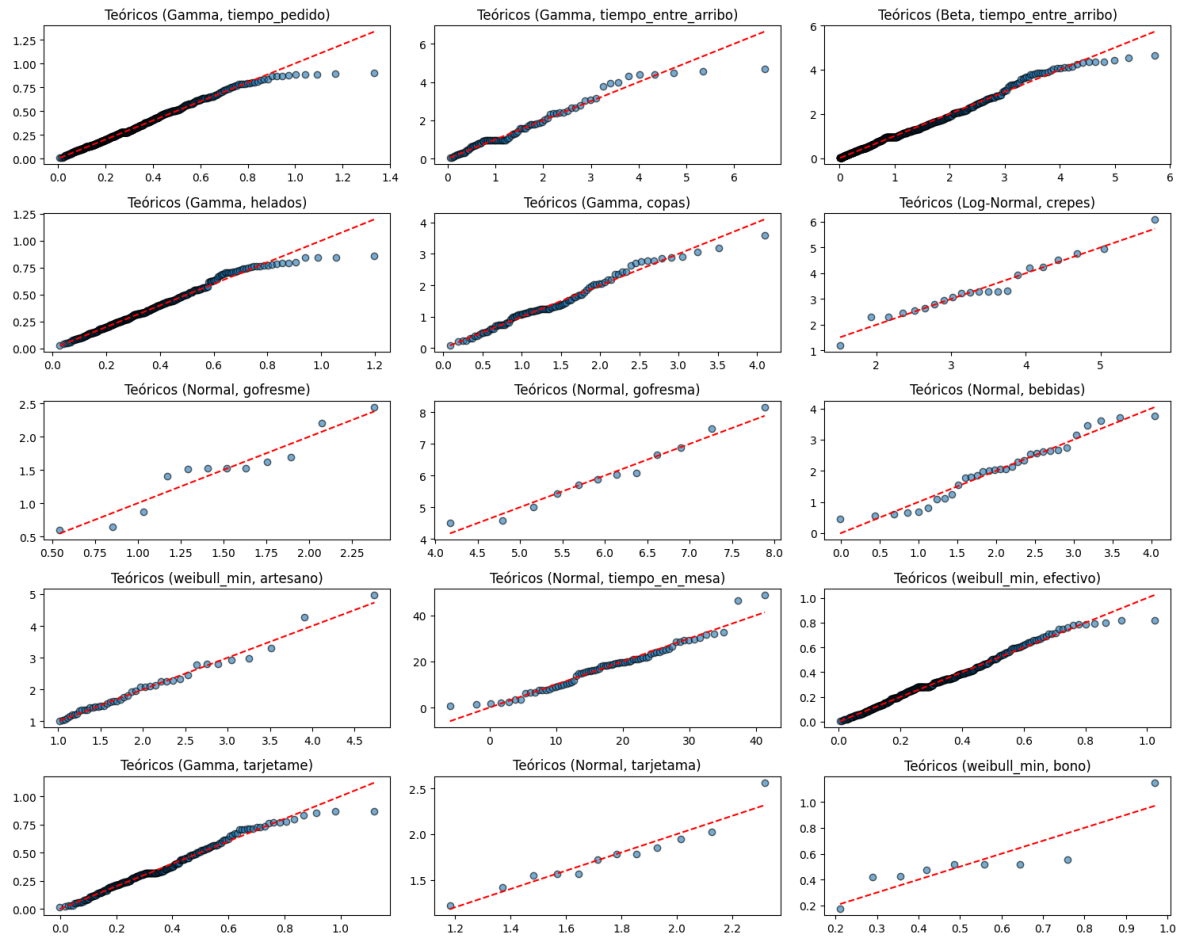
Variable	Distribución	Parámetros Estimados	P-valor	Conclusión
Tiempo de pedido	Gamma	(0.134, 2.31)	0.15	No se rechaza H_0 sobre la media
Tiempo de arribo (viernes)	Gamma	(1.07, 1.43)	> 0.15	No se rechaza H_0 sobre la media
Tiempo de arribo (sábado y domingo)	Exponencial	(1.12)	0.0762	No se rechaza H_0 sobre la media
Helados (simples)	Gamma	(0.108, 3.27)	> 0.15	No se rechaza H_0 sobre la media
Copas	Gamma	(0.48, 2.87)	> 0.15	No se rechaza H_0 sobre la media
Gofres con crema (pre hechos)	Triangular	(0.41, 1.52, 2.63)	> 0.15	No se rechaza H_0 sobre la media
Gofres desde cero	Normal	(6.03, 1.07)	> 0.15	No se rechaza H_0 sobre la media
Bebidas	Normal	(2.02, 0.941)	> 0.15	No se rechaza H_0 sobre la media
Crepes	Lognormal	$1 + \text{WEIB}(2.68, 2.32)$	> 0.15	No se rechaza H_0 sobre la media
Helado artesano	Weibull	$1 + \text{WEIB}(0.985, 1.12)$	> 0.15	No se rechaza H_0 sobre la media
Tiempo en mesa	Normal	(17.7, 9.54)	> 0.15	No se rechaza H_0 sobre la media

Pago en efectivo	Weibull	(0.322, 1.62)	> 0.15	No se rechaza H_0 sobre la media
Pago con tarjeta (datáfono no dañado)	Erlang	(0.112,3)	> 0.15	No se rechaza H_0 sobre la media
Pago con tarjeta (datáfono dañado)	Normal	(1.75, 0.328)	> 0.15	No se rechaza H_0 sobre la media
Pago con bono	Lognormal	$0.07 + \text{Logn}(0.467, 0.29)$	> 0.15	No se rechaza H_0 sobre la media

Para confirmar la adecuación de los ajustes, se realizaron QQ-Plots y simulaciones de variables aleatorias con los parámetros obtenidos, comparando luego la media simulada con la media real mediante pruebas de hipótesis al 95 % de confianza; en todos los casos, no se rechazó la hipótesis de igualdad de medias, lo que refuerza la validez de los modelos de distribución elegidos.

Figura 8

Q-Q plot para validar distribuciones



Nota: Elaboración propia

Discretas

Para modelar adecuadamente las decisiones y características cualitativas del sistema, también se identificaron y analizaron variables discretas categóricas que afectan directamente el comportamiento del cliente y la lógica de la simulación. Entre estas variables se encuentran: el método de pago, el estado del datáfono, si el gofre es preparado desde cero o prehecho, la cantidad de artículos solicitados por pedido, la probabilidad de que el cliente se siente en mesa, y el tipo de producto elegido. Para estas variables categóricas se utilizó distribuciones empíricas o binomiales, como se muestra en la siguiente tabla. Las empíricas se obtuvieron por conteo mientras que la binomial por bondad de ajuste.

Variables Categórica	Distribución	Parámetros
Método de Pago	Empírica	(Efectivo: 0.6, Tarjeta:0.9854, Bono:1)
Datáfono	Binomial	(237,0.0506) De que este Dañado el Datáfono

Tipo de Producto	Empírica	(helados: 0.6007, copas: 0.7806, gofres: 0.8238, bebidas: 0.8814, crepes: 0.921 , artesano: 1)
Tipo de Gofre	Binomial	(24,0.5) De estar pre-hecha
Cantidad de Productos	Empírica	(1: 0.6221, 2: 0.8702, 3: 0.9427, 4:0.9809 , 5:0.9962, 7:1.0)
Ocupar mesa (Viernes)	Empírica	(Ocupar: 0.1382 , NoOcupar: 1)
Ocupar Mesa (Fin de Semana)	Empírica	(Ocupar: 0.1489, NoOcupar: 1)

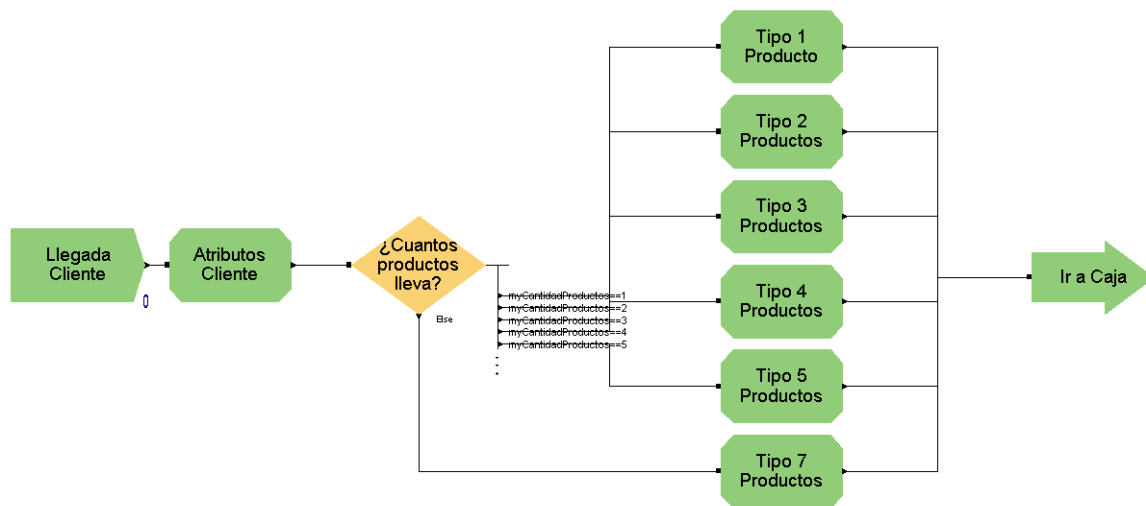
Situación Actual

Modelo en Arena

El modelo se realizó con el software de arena para poder lograr una simulación que diera tanto estadísticas como una animación visual del modelo. Para esto se realizó con herramientas como estaciones, ruteo, storage, decide, separate y batch. La primera parte del modelo simula la llegada de clientes y las características de su pedido que incluye cuantos productos van a llevar, qué tipos de productos, el tipo de pago y si van a querer o no mesa. Luego se dirigen a la caja. Esta sección se muestra a continuación en la figura 9.

Figura 9

Modelo Arena Definición Atributos

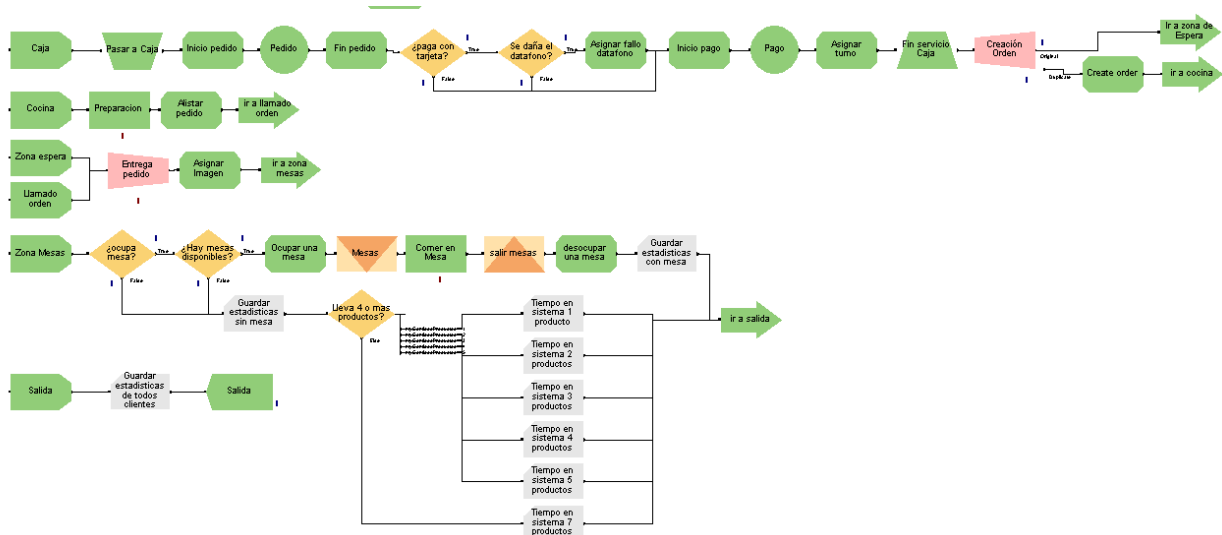


Nota: Elaboración propia

Al iniciar el proceso de caja se realizan dos procesos: el pedido y a continuación el pago. Ambos se realizan con el mismo recurso de caja, dependiendo de su método de pago y la probabilidad de que el datáfono falle. Cuando se termina el pago el cliente se dirige a esperar el pedido y la orden se dirige a cocina, en la cocina se realiza la preparación según la cantidad y tipo de pedido luego el cliente reclama su pedido cuando está listo y finalmente va a zona de mesas si desea consumir en el lugar.

Figura 10

Modelo Arena Proceso Heladería



Nota: Elaboración Propia

Es importante decir que se realizaron dos modelos uno para el viernes y otro para el fin de semana pues los tiempos son estadísticamente distintos. Sin embargo el modelo tiene la misma estructura y lógica lo único que cambia son las distribuciones de tiempo entre arribos, la probabilidad de querer una mesa y la cantidad de personas en cocina por lo que el modelo se explica solo una vez.

Warm up

El warm up se decidió realizar 1 hora antes de que inicie totalmente la simulación, es decir de 11 a 12. Esto es porque el sistema a las 12 no comienza vacío sino que ya el sistema está abierto hace unas dos horas entonces esta hora se usa para la estabilización del modelo y que el estudio de las tres horas sea lo más fiel a la realidad posible. Esto porque si las estadísticas de esta primera hora pueden cambiar los promedios porque el modelo apenas se está llenando o tiene picos antes de su estabilización, las estadísticas se cuentan desde las 12-3.

Número de replicaciones

El número de replicaciones se definió en función del error que se quería para el tiempo del cliente haciendo fila para pasar a caja porque para este proyecto es la medida de desempeño más importante para este modelo. Se definió que este error sería de 0.5 minutos. A partir de ahí se realizaron 10 replicaciones iniciales y utilizando la desviación estándar y el halfwidth para calcular la cantidad de replicaciones. Para el fin de semana el número de replicaciones fue de 129 y para el viernes dio 19 replicaciones.

Validación

La validación se realizará de dos maneras. La primera será una validación visual que se realiza mediante una animación del modelo en donde se pueden ver las filas, la utilización de recursos, la velocidad con la que llegan los clientes y el flujo general del sistema. La segunda manera se realiza comparando datos reales con datos que da el modelo para esto se usará la cantidad de personas en el sistema por hora, la cantidad de personas que entran al sistema y salen del sistema por hora y el tiempo promedio de un cliente en el sistema por cantidad de productos pedidos. Estos tiempos promedio no se comparan directamente con los datos sino que se revisará la coherencia de cada uno y se validará según la experiencia de los tomadores de los datos del sistema que conocen el sistema.

Animación

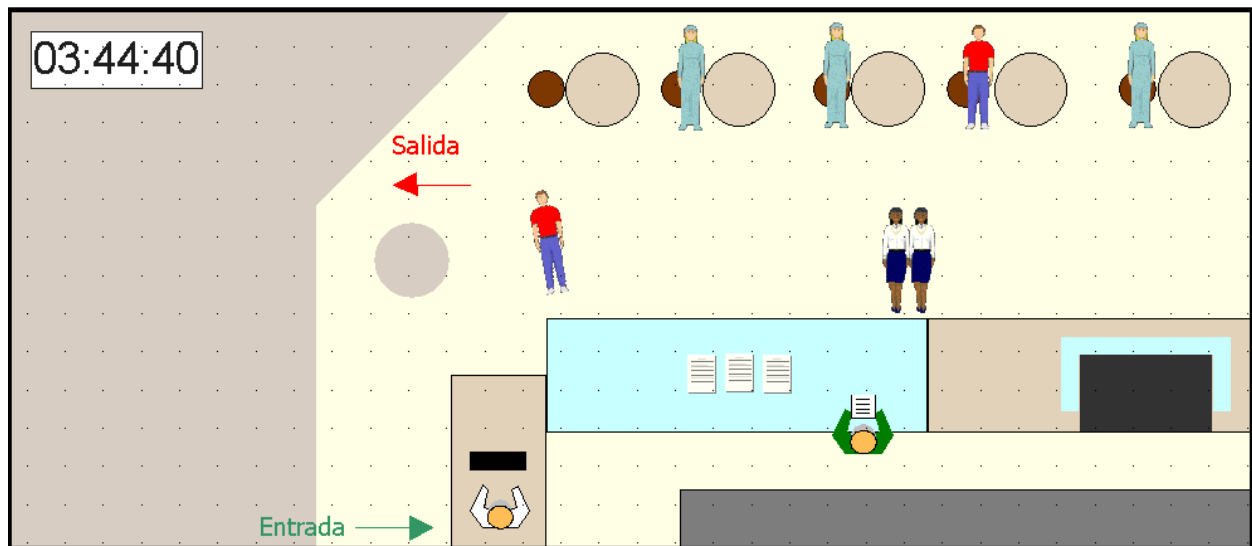
A continuación se realiza la validación del modelo por el método de visual para cada uno de los dos modelos.

Viernes

En la figura 11 se puede apreciar una imagen de la animación del modelo realizada para poder comparar el modelo con el sistema real.

Figura 11

Animación del modelo día viernes

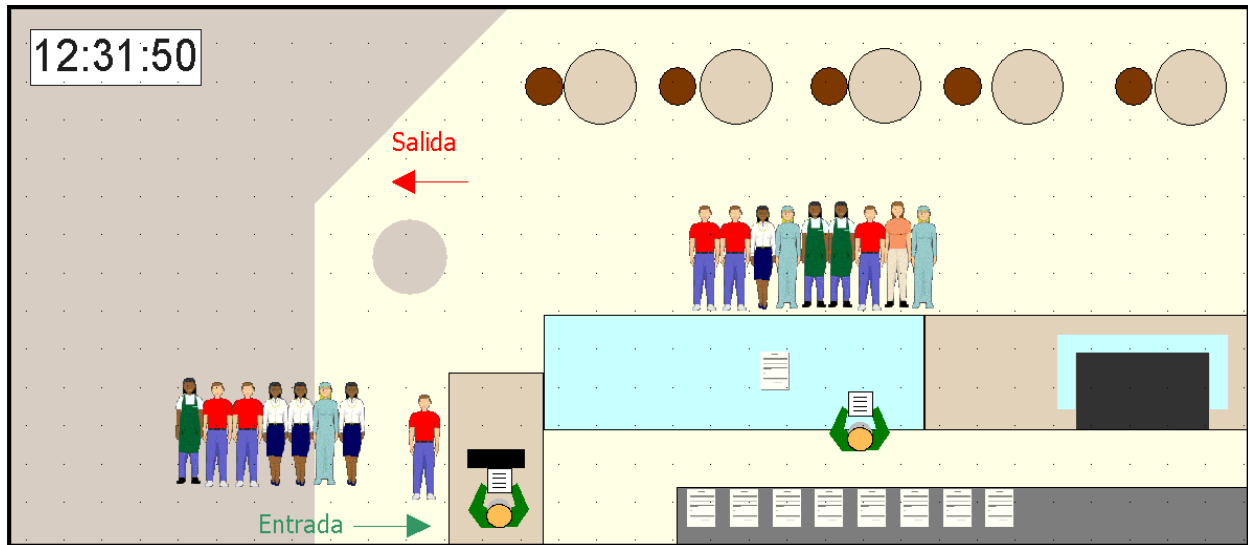


En el caso del viernes se puede ver que la animación muestra que hay varias personas en mesa no hay colas largas y no hay cola de pedidos lo que tiene sentido con lo que se pudo observar en el sistema real por lo que se valida que el sistema tiene coherencia con la realidad. Además funciona el flujo de manera correcta por lo que también se verifica su funcionamiento.

Fin de semana

Figura 12

Animación del modelo fin de semana



En la animación se puede ver que hay varias personas en la fila, el cajero está ocupado, también hay cola en pedidos y el flujo tanto de la entidad de cliente como la entidad de pedido tiene coherencia por lo que se puede decir que el modelo es correcto y coherente con la realidad del fin de semana. También funciona de manera adecuada sin presentar ningún error por lo que también está verificado.

Validación Datos

Para empezar un análisis más cuantitativo se comienza revisando que los datos de salida del modelo tengan coherencia con las observaciones de los tomadores de datos y coherentes con el funcionamiento del sistema. Se revisan las estadísticas de tiempo total del sistema global y por producto para verificar su coherencia.

Figura 13

Estadísticas validación

Estadística	Media	Halfwidth	Limite Inferior	Limite Superior
TiempoEnSistemaNoMesaCantProd1	5,1729	0,7965	4,3764	5,9695
TiempoEnSistemaNoMesaCantProd2	6,1950	0,8427	5,3523	7,0377
TiempoEnSistemaNoMesaCantProd3	7,5337	1,1903	6,3433	8,7240
TiempoEnSistemaNoMesaCantProd4	8,3658	1,4391	6,9267	9,8050
TiempoEnSistemaNoMesaCantProd5	10,5732	2,2326	8,3406	12,8058
TiempoEnSistemaNoMesaCantProd7	10,2406	4,3003	5,9403	14,5409
TiempoEnSistema	5,7761	0,8034	4,9727	6,5795

Nota: Elaboración Propia, todos los tiempos en minutos

Como se puede ver las medias del tiempo en el sistema a medida que aumenta la cantidad de producto es mayor, lo que tiene sentido debido a que mientras más productos se piden más

tiempo tarda la preparación. El tiempo global del sistema es un promedio ponderado porque depende de la probabilidad de pedir cierta cantidad de productos y del tiempo que se tarde por lo que tiene sentido que se 5.

Validación de datos

Escenario	Fuente	Promedio atendidos	ic 95%	Wip Medio
Viernes	Arena	121.76	[118,14 ; 25,39]	3.60
Viernes	Campo	45.00	n/a	0.50
Fin de Semana	Arena	170.65	[168,27 ;173,03]	6.33
Fin de Semana	Campo	133,75	n/a	3,75

Hora	Pedidos por Día
11:00 am	2.83
12:00 pm	20
1:00 pm	57.17
2:00pm	55.17
3:00 pm	6

En la validación de resultados, el modelo de Arena reproduce la tendencia observada en los datos de campo al registrar un mayor volumen de atención durante los fines de semana que los viernes. Para el fin de semana, Arena estima en promedio 170,65 clientes con un IC 95 % = [168,27 ; 173,03] , mientras que la observación de campo indica 133,75. La diferencia relativa es cercana al 28 %, valor aceptable en esta fase preliminar del proyecto.

En contraste, el viernes presenta una discrepancia significativa: el modelo proyecta 121,76 clientes con un IC 95 % = [118,14 ; 125,39] frente a 45 registradas en campo. Este desvío

sugiere la necesidad de recalibrar los parámetros específicos de esa jornada particularmente las tasas de llegada.

Pese a la divergencia puntual del viernes, el promedio de pedidos es de 141,15 que se encuentra dentro del rango definido por las estimaciones de Arena 121,76 para viernes y 170,65 para fin de semana. En consecuencia, puede afirmarse que el esquema actual de Arena representa adecuadamente la dinámica general del sistema; bastará con refinar los supuestos específicos del viernes para lograr una correspondencia más estrecha con la evidencia empírica.

Análisis

Viernes

A continuación se presentan las medidas de desempeño para el día viernes con sus respectivos intervalos de confianza.

Figura 14

Medidas de Desempeño Viernes

Estadística	Media	Halfwidth	Límite Inferior	Límite Superior
Tiempo promedio esperando en la cola de la caja hora 1	2,56041	0,78107	1,77934	3,34148
Tiempo promedio esperando en la cola de la caja hora 2	2,32914	0,58517	1,74397	2,91430
Tiempo promedio esperando en la cola de la caja hora 3	2,27677	0,45161	1,82517	2,72838
Tiempo promedio de realización de pedido en caja	0,31261	0,01048	0,30213	0,32309
Tiempo promedio de pago de pedido	0,32745	0,01503	0,31242	0,34248
Tiempo promedio esperando pedido hora 1	1,46017	0,32099	1,13919	1,78116
Tiempo promedio esperando pedido hora 2	1,39317	0,24798	1,14520	1,64115
Tiempo promedio esperando pedido hora 3	1,35426	0,18991	1,16435	1,54418
Tiempo promedio de consumo del pedido	18,34562	1,10933	17,23629	19,45496
Tiempo promedio total en el sistema hora 1	8,72081	1,46813	7,25269	10,18894
Tiempo promedio total en el sistema hora 2	8,60319	0,99731	7,60588	9,60050
Tiempo promedio total en el sistema hora 3	8,47677	0,81124	7,66553	9,28800
Porcentaje de utilización del cajero hora 1	94,12%	12,47%	81,65%	106,59%
Porcentaje de utilización del cajero hora 2	82,35%	20,20%	62,15%	102,56%
Porcentaje de utilización del cajero hora 3	70,59%	24,15%	46,44%	94,74%
Porcentaje de utilización de personal de cocina hora 1	84,21%	7,20%	77,01%	91,40%
Porcentaje de utilización de personal de cocina hora 2	82,69%	5,04%	77,65%	87,73%
Porcentaje de utilización de personal de cocina hora 3	82,03%	3,37%	78,67%	85,40%
Porcentaje de utilización de las mesa	34,36%	3,91%	30,45%	38,26%

Nota: Elaboración Propia. Todas las unidades de tiempo en minutos

Como se puede ver en las estadísticas los tiempos de cola en caja son inferiores a 4 minutos por lo que no son un problema. Al igual que el tiempo de realización del pedido y del pago por lo que tampoco representan un problema en el sistema. En el caso del tiempo promedio de espera de pedido es menor a 2 minutos para cualquier hora del día viernes. El promedio total

del sistema está entre 7.25 y 10.18 minutos en la primera hora, es decir de 12 a 1 por lo que si sería bueno reducir un poco más este tiempo. Esto puede estar relacionado con el porcentaje de utilización del cajero en la hora 1 que es de 81,65% a 106.59% por lo que el cajero está sobreutilizado esto puede deberse a que en la primera hora solo hay una persona que es la misma que atiende la caja y prepara el producto por lo que sería útil analizar añadir una persona más para que la utilización de la caja baje y el tiempo en el sistema se reduzca sobre todo en la primera y segunda hora. A pesar de que el tiempo de utilización de mesa es alto el porcentaje de utilización es cercano al 30%. Por lo que las mesas no representan un problema.

Fin de semana

A continuación se presentan las medidas de desempeño para el fin de semana con sus respectivos intervalos de confianza.

Figura 15

Medidas de Desempeño Fin de Semana

Estadística	Media	Halfwidth	Límite Inferior	Límite Superior
Tiempo promedio esperando en la cola de la caja hora 1	7,5241	0,7216	6,8025	8,2457
Tiempo promedio esperando en la cola de la caja hora 2	6,1026	0,5867	5,5159	6,6894
Tiempo promedio esperando en la cola de la caja hora 3	4,5233	0,4209	4,1024	4,9442
Tiempo promedio de realización de pedido en caja	0,3107	0,0024	0,3083	0,3131
Tiempo promedio de pago de pedido	0,3355	0,0037	0,3318	0,3392
Tiempo promedio esperando pedido hora 1	3,5683	0,3241	3,2442	3,8924
Tiempo promedio esperando pedido hora 2	2,6833	0,2301	2,4531	2,9134
Tiempo promedio esperando pedido hora 3	2,1084	0,1633	1,9451	2,2717
Tiempo promedio de consumo del pedido	17,5429	0,3416	17,2013	17,8845
Tiempo promedio total en el sistema hora 1	17,1881	1,2475	15,9406	18,4355
Tiempo promedio total en el sistema hora 2	14,8270	1,0219	13,8051	15,8490
Tiempo promedio total en el sistema hora 3	12,1805	0,7380	11,4425	12,9185
Porcentaje de utilización del cajero hora 1	96,90%	3,03%	93,87%	99,93%
Porcentaje de utilización del cajero hora 2	83,72%	6,46%	77,26%	90,18%
Porcentaje de utilización del cajero hora 3	69,77%	8,03%	61,74%	77,80%
Porcentaje de utilización de personal de cocina hora 1	97,14%	1,22%	95,91%	98,36%
Porcentaje de utilización de personal de cocina hora 2	92,66%	1,31%	91,35%	93,97%
Porcentaje de utilización de personal de cocina hora 3	84,50%	1,15%	83,35%	85,64%
Porcentaje de utilización de las mesa	45,16%	1,52%	43,64%	46,68%

Nota: Elaboración Propia, Todos los tiempos en minutos.

Como se puede observar en las estadísticas, los tiempos promedio esperando en la cola de la caja disminuyen conforme avanza el día, pasando de 7,52 minutos en la hora 1, a 6,10 minutos en la hora 2, y finalmente 4,52 minutos en la hora 3. Aunque son algo elevados en la primera hora, en general se mantienen dentro de un rango manejable sin embargo este es el principal enfoque el proyecto por lo que si se busca reducir estos tiempos.

Los tiempos promedio de realización y pago del pedido son muy bajos (alrededor de 0,31 a 0,34 minutos, es decir, menos de 21 segundos), lo cual indica una buena eficiencia en estas actividades. A pesar de la falla que presenta el datáfono.

Respecto al tiempo promedio esperando el pedido, también se observa una tendencia decreciente: 3,57 minutos en la hora 1, 2,68 minutos en la hora 2 y 2,11 minutos en la hora 3. Estos valores son razonables y muestran una mejora conforme avanza el día. Esto tiene que ver con que hay más personal en las últimas horas del día, que en la primera hora.

El tiempo promedio de consumo del pedido es constante con un valor cercano a 17,54 minutos, lo cual es esperable y no depende directamente del sistema, sino del comportamiento del cliente pero la utilización del recurso de mesa es de alrededor del 40% por lo que no presenta un problema.

En cuanto al tiempo promedio total en el sistema, se observa lo siguiente aproximadamente: Hora 1: 17,18 minutos Hora 2: 14,82 minutos, Hora 3: 12,18 minutos

El mayor tiempo se presenta en la hora 1, con un rango de confianza que va de 15,94 a 18,41 minutos, lo que indica una carga más alta del sistema en ese periodo. Este comportamiento está relacionado con el porcentaje de utilización del cajero.

Esto indica una alta utilización del cajero en la primera hora, lo que sugiere una posible sobrecarga o cuello de botella. Es probable que el cajero esté realizando múltiples tareas (atendiendo y preparando), lo cual justifica evaluar la posibilidad de agregar personal adicional en esa hora para reducir los tiempos del sistema.

En cuanto al personal de cocina, la utilización también es alta sobre todo para la primera hora pues supera el 80% esto indica que el personal de cocina está muy cerca de su capacidad máxima, especialmente en la hora 1, lo cual puede limitar el crecimiento de la operación si no se toman medidas. Por lo que también se puede evaluar la opción de agregar otro empleado en cocina de 12-1.

- Hora 1: 97,14% ($\pm 1,22\%$)
- Hora 2: 92,66% ($\pm 1,31\%$)
- Hora 3: 84,90% ($\pm 1,15\%$)

Soluciones

Viernes

Como se pudo ver en la situación actual para el día viernes la utilización del cajero en las primeras dos horas es muy alta se quiere reducir para poder manejar mejor un aumento de demanda. Primero se evaluó la opción de que el datáfono no falle es decir pedir un cambio de datáfono con lo que se reduciría el tiempo de pago y el tiempo total del sistema aunque no tendría un impacto tan significativo teniendo en cuenta que solo alrededor del 40% y la probabilidad que se dañe es alrededor del 5%. Sin embargo, esto también se hace porque ayuda a mejorar la percepción del cliente y es un cambio que se puede realizar sin necesidad de invertir, pues el cambio se solicita a la empresa, no se requiere espacio adicional ni capacitaciones extra o algún otro recurso. Para realizar este cambio a nivel del modelo de arena lo que se hizo fue quitar la distribución de tiempo para datáfono y el decide que daba esta opción de que se dañara.

La segunda solución que se evaluó es la de realizar todos los gofres de manera prehecha esto debido a que a veces se realizaban y a veces no. No era un proceso estandarizado y teniendo en cuenta que uno de los tiempos más altos del sistema es la preparación de los gofres se cree que puede afectar bastante a la hora de reducir el tiempo total de preparación y del sistema. Adicionalmente, esta solución no requiere una inversión mayor porque ya se tiene la máquina y se puede conectar con la tercera solución que es redistribuir el personal para poder tener una mejor utilización de recursos y que tengan el tiempo para realizar los gofres con anticipación. Para realizar esta solución se hizo que todos los gofres fueran prehechos por lo que solo se utilizó la distribución para los gofres prehechos.

La tercera solución es cambiar la asignación de recursos debido a que la utilización de recursos varía mucho entre horas y en la primera hora es muy alta. Para esto lo que se hizo fue tener dos empleados cada uno asignado a su función en caja y a cocina sin embargo ambos pueden ayudar en las otras actividades aunque mantienen la prioridad de su actividad. Es decir se comparten las tareas cuando sea requerido. Esto balancea las colas y la utilización de recursos a continuación se muestran las medidas de desempeño con esta solución.

Figura 16

Estadísticas de desempeño de viernes con soluciones

Estadística	Media	Half-Width	Limite Inferior	Limite Superior
Tiempo promedio esperado en la cola de la caja hora 1	1.1319	0.9439	0.1880	2.0758
Tiempo promedio esperado en la cola de la caja hora 2	0.8352	0.5264	0.3088	1.3616
Tiempo promedio esperado en la cola de la caja hora 3	0.7815	0.3687	0.4128	1.1502
Tiempo promedio de realizacion de pedido en caja	0.3094	0.0089	0.3005	0.3183
Tiempo promedio de pago de pedidos	0.3257	0.0144	0.3112	0.3401
Tiempo promedio esperando pedido hora 1	1.2223	0.4713	0.7510	1.6936
Tiempo promedio esperando pedido hora 2	1.0655	0.2619	0.8036	1.3274
Tiempo promedio esperando pedido hora 3	1.0554	0.1887	0.8666	1.2441
Tiempo promedio de consumo del pedido	17.7143	1.4020	16.3124	19.1163
Tiempo promedio total en el sistema hora 1	7.2192	2.2452	4.9741	9.4644
Tiempo promedio total en el sistema hora 2	6.2414	1.2907	4.9507	7.5320
Tiempo promedio total en el sistema hora 3	6.1005	0.9255	5.1749	7.0260
Porcentaje de utilizacion del cajero hora 1	84.21%	18.06%	66.15%	102.27%
Porcentaje de utilizacion del cajero hora 2	63.16%	23.89%	39.27%	87.04%
Porcentaje de utilizacion del cajero hora 3	78.95%	20.19%	58.76%	99.14%
Porcentaje de utilizacion de personal de cocina hora 1	70.25%	6.47%	63.78%	76.73%
Porcentaje de utilizacion de personal de cocina hora 2	68.14%	3.62%	64.52%	71.76%
Porcentaje de utilizacion de personal de cocina hora 3	68.47%	3.00%	65.47%	71.48%
Porcentaje de utilizacion de las mesas	30.85%	3.02%	27.83%	33.87%

Nota: Elaboración propia tiempo en minutos

Se puede ver que el tiempo esperando en la cola de caja en todas las horas es menor a 2 minutos y medio a diferencia de antes de la solución que llegaba hasta los 3 minutos y medio. A pesar de que los intervalos de confianza se solapan si se puede ver que hay una reduccion del tiempo y con una prueba de diferencia de medias se puede saber que es estadisticamente menor con valor p mayor a 0,05. El tiempo de realización del pedido y del pago si no muestran diferencia estadísticamente significativa lo que tiene sentido debido a que en estos procesos solo estaba el cambio del datáfono pero como se explicó anteriormente no afecta a tantos pedidos. En cuanto a los tiempos de espera de pedido se puede ver que se estabilizó y ahora están más cercanos en las tres horas. Además no pasa de 1.7 minutos. Por lo que hubo una mejora sin embargo no es estadísticamente significativo. El tiempo promedio de consumo también se

mantuvo porque a esto no se le realizó ningún cambio y es más una decisión del cliente y no algo intrínseco del sistema. El tiempo total del sistema en la hora 1 fue de 4,4791- 9,4644 minutos. y antes era de 7.2526-10,1899 minutos por lo que el intervalo también se solapa sin embargo con una prueba de diferencia de medias se puede saber que son estadísticamente diferentes, con un p valor mayor a 0,05. Esto pasa para las 3 horas lo que significa que los tiempos totales del sistema si mejoran con estas soluciones. Finalmente la utilización del personal se estabiliza mucho más que antes ya ninguna supera el 100% y casi todos los recursos se mantienen alrededor de 75%. Lo que es una buena utilización de recursos y también significa que se reducen costos porque ahora solo hay dos empleados todo el tiempo mientras que antes llegaba a haber hasta 3.

Fin de Semana

En el fin de semana se evaluaron varias propuestas. Primero se evaluó la opción de que el datáfono no falle es decir pedir un cambio de datáfono con lo que se reduciría el tiempo de pago y el tiempo total del sistema aunque no tendría un impacto tan significativo teniendo en cuenta que solo alrededor del 40% y la probabilidad que se dañe es alrededor del 5%. Sin embargo, esto también se hace porque ayuda a mejorar la percepción del cliente y es un cambio que se puede realizar sin necesidad de invertir, pues el cambio se solicita a la empresa, no se requiere espacio adicional. Para realizar este cambio a nivel del modelo de arena lo que se hizo fue quitar la distribución de tiempo para datáfono y el decide que daba esta opción de que se dañara. A continuación se analiza el impacto de la solución.

Figura 17

Estadísticas datáfono

Estadística	Media	Halfwidth	Límite Inferior	Límite Superior
TiempoEnSistemaBase	9,5572	2,4087	7,1485	11,9658
TiempoPagoBase	0,3316	0,0099	0,3217	0,3415
TiempoEnSistemaDatáfono Bueno	10,1334	1,9729	8,1605	12,1063
TiempoPagoDatáfono Bueno	0,3246	0,0128	0,3118	0,3374

Nota: Elaboración propia tiempo en minutos

Como se puede ver en esta solución el tiempo de pago se reduce aunque no de manera significativa y el tiempo de sistema tampoco tienen ningún impacto en la reducción. Pero como se mencionó anteriormente se realizará no por el tiempo sino por la imagen que da al cliente.

La segunda solución que se evaluó es la de realizar todos los gofres de manera prehecha esto debido a que a veces se realizaban y a veces no. No era un proceso estandarizado y teniendo

en cuenta que uno de los tiempos más altos del sistema es la preparación de los gofres se cree que puede afectar bastante a la hora de reducir el tiempo total de preparación y del sistema. Adicionalmente, esta solución no requiere una inversión mayor porque ya se tiene la máquina y el personal al distribuirlo de una mejor manera se tendría tiempo para realizar los gofres con anticipación por lo que no requiere de mayor personal ni espacio extra. Para realizar esta solución se hizo que todos los gofres fueran prehechos por lo que solo se utilizó la distribución para los gofres prehechos.

Figura 18

Estadísticas gofres

Estadística	Media	Halfwidth	Límite Inferior	Límite Superior
TiempoEnSistemaBase	9,5572	2,4087	7,1485	11,9658
PreparacionBase	4,2475	1,1279	3,1196	5,3754
UtilizacionCocinaH1Base	96,87%	3,67%	93,20%	100,54%
UtilizacionCocinaH2Base	93,53%	3,36%	90,17%	96,90%
UtilizacionCocinaH3Base	84,55%	2,69%	81,86%	87,24%
TiempoEnSistemaNoMesa	7,2342	1,3267	5,9075	8,5609
Preparacion	3,2126	0,5923	2,6203	3,8050
UtilizacionCocinaH1	96,73%	3,69%	93,04%	100,43%
UtilizacionCocinaH2	89,68%	3,31%	86,37%	92,98%
UtilizacionCocinaH3	80,83%	2,36%	78,48%	83,19%

Nota: Elaboración propia tiempo en minutos

Como se puede ver en la figura 17 al realizar los gofres con anticipación ayuda a reducir el tiempo del sistema pasa de 7.1485- 11.9658 minutos a 5.9075-8.5609. A pesar de que los intervalos se intersectan si es menor el tiempo de los gofres esto se puede ver también en que la utilización de recursos se reduce al igual que el tiempo de preparación.

La tercera solución es cambiar la asignación de recursos debido a que la utilización de recursos varía mucho entre horas y en la primera hora es muy alta. Se propusieron varias opciones como hacer que la cajera solo se dedicara a atender la caja y no ayudara nunca en cocina.

Figura 19

Estadísticas cajera independiente

Estadística	Media	Halfwidth	Límite Inferior	Límite Superior
rCajeroBase	84,55%	2,69%	81,86%	87,24%
rCocinaBase	70,02%	3,97%	66,05%	74,00%
PreparacionBase	4,2475	1,1279	3,1196	5,3754
TiempoEnSistemaBase	9,5572	2,4087	7,1485	11,9658
TiempoPagoBase	0,3316	0,0099	0,3217	0,3415
rCajero	84,55%	2,69%	81,86%	87,24%
rCocina	70,02%	3,97%	66,05%	74,00%
Preparacion	13,4607	2,9789	10,4818	16,4396
TiempoEnSistema	14,6937	2,9228	11,7710	17,6165
TiempoPago	0,3313	0,0129	0,3183	0,3442

Nota: Elaboración propia tiempo en minutos

En el caso de la cajera que solo haga las actividades de caja y no pueda ayudar al personal de cocina pasa lo siguiente y es que el tiempo de preparación aumenta debido a que hay menos personal en preparación pero el tiempo de pago si disminuye ligeramente. La utilización de recursos se mantiene igual por lo que no parece ser la mejor solución. A continuación se propuso poner dos cajas pero compartidas con la cocina

Figura 20

Estadísticas dos cajas compartidas

Estadística	Media	Halfwidth	Límite Inferior	Límite Superior
rCajeroBase	84,55%	2,69%	81,86%	87,24%
rCocinaBase	70,02%	3,97%	66,05%	74,00%
PreparacionBase	4,2475	1,1279	3,1196	5,3754
TiempoEnSistemaBase	9,5572	2,4087	7,1485	11,9658
TiempoPagoBase	0,3316	0,0099	0,3217	0,3415
rCajeraAux	44,45%	2,87%	41,58%	47,32%
rCajero	43,21%	1,47%	41,74%	44,68%
rCocina	55,21%	2,27%	0,5294	0,5748
Preparacion	1,8691	0,2060	1,6631	2,0751
TiempoEnSistemaNoMesa	2,7385	0,2220	2,5164	2,9605
TiempoPago	0,3251	0,0102	0,3150	0,3353

Nota: Elaboración propia tiempo en minutos

En este caso los porcentajes de utilización bajaron lo que indica que realmente si se mejoró la utilización de los recursos dando capacidad de reacción a la demanda el tiempo de preparación se redujo y el tiempo total en el sistema también bajó por lo que es una idea que puede funcionar sin embargo algo negativo es que se necesita contratar a una persona más y una caja más y las utilidades de recurso son un tanto más bajas que lo deseado. Por lo que se evalúa la

Figura 21

Estadísticas segunda cajera compartida reducir personal cocina

Estadística	Media	Halfwidth	Límite Inferior	Límite Superior
rCajeroBase	84,55%	2,69%	81,86%	87,24%
rCocinaBase	70,02%	3,97%	66,05%	74,00%
PreparacionBase	4,2475	1,1279	3,1196	5,3754
TiempoEnSistemaBase	9,5572	2,4087	7,1485	11,9658
TiempoPagoBase	0,3316	0,0099	0,3217	0,3415
rCajeraAux	44,45%	2,87%	41,58%	47,32%
rCajero	43,21%	1,47%	41,74%	44,68%
rCocina	55,21%	2,27%	0,5294	0,5748
Preparacion	12,8482	3,1557	9,6926	16,0039
TiempoEnSistemaNoMesa	14,0497	3,1352	10,9145	17,1849
TiempoPago	0,3301	0,0112	0,3189	0,3413

Nota: Elaboración propia tiempo en minutos

Finalmente se propuso mantener una persona permanente en cocina y dos cajeras que podían ayudar en la cocina, una teniendo prioridad para atender la caja y la otra para ayudar en cocina de ser requerida, esta fue la solución seleccionada por lo que se revisará en las estadísticas a continuación en la solución final.

Se aplicaron estas tres soluciones al tiempo para poder reducir los tiempos de colas, del sistema y mejorar la utilización de los recursos de caja y cocina. A continuación se presentan las nuevas medidas de desempeño y se analizan.

Figura 22

Estadísticas solución final

Estadística	Media	Half-Width	Límite Inferior	Límite Superior
Tiempo promedio esperado en la cola de la caja hora 1	0.5014	0.0819	0.4195	0.5833
Tiempo promedio esperado en la cola de la caja hora 2	0.4853	0.0564	0.4289	0.5417
Tiempo promedio esperado en la cola de la caja hora 3	0.4999	0.0461	0.4538	0.5461
Tiempo promedio de realización de pedido en caja	0.3101	0.0026	0.3075	0.3127
Tiempo promedio de pago de pedidos	0.3288	0.0033	0.3254	0.3321
Tiempo promedio esperando pedido hora 1	0.8836	0.0367	0.8469	0.9203
Tiempo promedio esperando pedido hora 2	0.8720	0.0270	0.8450	0.8989
Tiempo promedio esperando pedido hora 3	0.8809	0.0224	0.8585	0.9033
Tiempo promedio de consumo del pedido	17.9968	0.2987	17.6981	18.2956
Tiempo promedio total en el sistema hora 1	5.7718	0.2086	5.5632	5.9804
Tiempo promedio total en el sistema hora 2	5.6367	0.1507	5.4860	5.7875
Tiempo promedio total en el sistema hora 3	5.6680	0.1211	5.5469	5.7891
Porcentaje de utilización del cajero hora 1	63.57%	8.42%	55.15%	71.98%
Porcentaje de utilización del cajero hora 2	65.89%	8.29%	57.60%	74.18%
Porcentaje de utilización del cajero hora 3	63.57%	8.42%	55.15%	71.98%
Porcentaje de utilización de personal de cocina hora 1	63.07%	1.88%	61.19%	64.96%
Porcentaje de utilización de personal de cocina hora 2	63.03%	1.37%	61.67%	64.40%
Porcentaje de utilización de personal de cocina hora 3	63.49%	1.11%	62.39%	64.60%
Porcentaje de utilización de las mesas	45.40%	1.40%	44.00%	46.80%

Nota: Elaboración propia tiempo en minutos

En la figura 22 se puede ver que luego de implementar los cambios propuestos mantener una persona permanente en cocina, disponer de dos cajeras con funciones complementarias (una

priorizando caja y la otra apoyando cocina si es necesario), reducir el tiempo de preparación de gofres y arreglar el datáfono se observaron mejoras operativas importantes. Los tiempos de espera en la cola de la caja para las tres horas analizadas fueron todos inferiores a 2.5 minutos, representando una mejora frente a los resultados previos donde el tiempo alcanzaba hasta 3.5 minutos. Aunque los intervalos de confianza se solapan, una prueba de diferencia de medias indica que la reducción es estadísticamente significativa con un valor p mayor a 0.05. En cuanto al tiempo de realización del pedido y el pago, se mantienen estables, lo cual era esperado, ya que la reparación del datáfono no impacta en todos los pedidos. Los tiempos de espera por el pedido muestran una disminución y estabilización (menores a 1.7 minutos), sin diferencia estadística significativa, pero reflejan una mejora operacional gracias a la permanencia del personal en cocina y el apoyo flexible de las cajeras. El tiempo de consumo se mantuvo constante, lo cual es coherente ya que depende de la decisión del cliente. Respecto al tiempo total en el sistema, se observa una reducción en las tres horas evaluadas; por ejemplo, en la hora 1 el intervalo pasó de 7.2526–10.1899 minutos a 5.5632–5.9804 minutos, siendo la diferencia estadísticamente significativa con un p valor mayor a 0.05. En cuanto a la utilización del personal, esta se estabiliza entre 63% y 66%, a diferencia del escenario anterior donde algunos recursos superaban el 100%, lo que refleja una buena eficiencia sin sobrecarga. Además, el sistema opera ahora de forma continua con solo dos empleados, reduciendo costos laborales frente al escenario anterior que requería hasta tres personas en simultáneo. La utilización de las mesas se mantuvo moderada (45.40%), lo que es positivo para la comodidad del cliente, aunque se podría explorar una mayor rotación para mejorar la rentabilidad. En conjunto, estas medidas permitieron una mejora significativa en el rendimiento del sistema, con tiempos más bajos, estabilidad operativa y reducción de costos sin afectar el nivel de servicio.

Conclusión

El desarrollo del presente proyecto permitió conceptualizar y validar un modelo de simulación de eventos discretos (SED) aplicado al funcionamiento de la heladería Crepes & Waffles ubicada en el centro comercial Centro Chía.

A partir del enfoque metodológico propuesto por Robinson (2008), se construyó un modelo riguroso y coherente que incluye una detallada estructura de entidades, actividades, recursos y eventos. El modelo fue delimitado a los días viernes a domingo entre las 12:00 m. y

3:00 p. m., considerando estos como los momentos de mayor demanda, lo que permitió concentrar el análisis en los escenarios más críticos para el sistema. Este modelo representa una herramienta práctica que puede ser implementada por la gerencia para tomar decisiones basadas en evidencia, optimizando recursos sin afectar la calidad del servicio. El estudio se enfocó en aspectos claves como el tiempo total del cliente en el sistema, tiempos de espera.

El proceso de análisis de datos incluyó una depuración exhaustiva de outliers, segmentación por categorías y subcategorías, y validación mediante pruebas estadísticas como ANOVA y Tukey HSD. Esto permitió establecer distribuciones precisas para variables continuas y discretas, ajustadas a la realidad observada en el sistema, garantizando la validez estadística del modelo. Cabe destacar que se identificaron diferencias significativas entre días, especialmente entre viernes y fines de semana, lo que justificó una parametrización diferenciada para mejorar la precisión del modelo.

Finalmente, el modelo propuesto no solo se alinea con las mejores prácticas establecidas por autores reconocidos como Law y Robinson, sino que también proporciona una base sólida para la implementación de futuras estrategias operativas en la heladería. Las variables modeladas y validadas permiten explorar múltiples escenarios en busca de mejorar la eficiencia del servicio, la experiencia del cliente y el uso óptimo de los recursos disponibles. Además del valor técnico, este proyecto evidenció la importancia de un proceso iterativo entre observación, modelado y validación, reafirmando que la calidad de un modelo depende tanto de los datos como del criterio con que se interpretan.

Referencias

- Heredia, A., Ceballos, Y., & Sánchez, G. (2019). *Modelo de simulación de eventos discretos para el análisis y mejora del proceso de atención al cliente*. Innovación & Ingeniería, 8(2), 39-51. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.2.3639>
- Law, A. (2003). How to conduct a successful simulation study. En S. Chick, P. J. Sánchez, D. Ferrin, & D. J. Morrice (Eds.), *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference* (pp. 66-70). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WSC.2003.1261409>
- Robinson, S. (2008a). *Conceptual modelling for simulation Part I: Definition and requirements*. Journal of the Operational Research Society, 59(3), 278-290. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602368>

Robinson, S. (2008b). *Conceptual modelling for simulation Part II: A framework for conceptual modelling*. Journal of the Operational Research Society, 59(3), 291-304.

<https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602369>

Pitre, W. (2025). Mexicana se sorprende al ver cómo las personas hacen fila en Crepes & Waffles. El Tiempo.

<https://www.eltiempo.com/cultura/gente/mexicana-se-sorprende-al-ver-como-las-personas-hacen-fila-en-crepes-waffles-3425004>