

# Diseño e implementación de políticas de asignación de pedidos en plataformas digitales buscando el bienestar de todos actores

Ana Lucía Caballero Perdomo  
a.caballerop@uniandes.edu.co  
Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia

## Resumen

Actualmente las plataformas de entrega de pedidos a domicilio juegan un papel fundamental en la economía digital, esta investigación se enfoca en diseñar y evaluar políticas de asignación de pedidos que no sólo busquen la eficiencia operativa que beneficia a la plataforma, sino que también promuevan el bienestar de todos los actores involucrados en este sistema. El enfoque metodológico se basa en la simulación de eventos discretos utilizando datos reales de una prominente empresa colombiana de entregas a domicilio. Para probar las diversas políticas de simulación utilizando Python. Se explora el modelo operativo actual y se crea una plataforma con nuevas políticas de bienestar que buscan mejorar la distribución de la rentabilidad. Este estudio refleja la dinámica aproximada a la realidad de las operaciones de entrega, donde la proximidad, la disponibilidad y la eficiencia en la entrega de los pedidos son factores fundamentales. Al modelar estos aspectos, la simulación proporciona una herramienta para entender y optimizar las operaciones de entrega de pedidos a domicilio en el mundo real. Como trabajo futuro se recomienda que se exploren más propuestas en donde involucren a todos los actores. Además, sería valioso investigar el impacto a largo plazo de las políticas de bienestar en la fidelidad del cliente y en la sostenibilidad económica de las tiendas asociadas, Así como el uso de tecnología emergentes de inteligencia artificial para realizar predicciones.

**Palabras clave:** Entregas a domicilio, bienestar de los actores, simulación de eventos discretos.

## Abstract

Currently, home delivery platforms play a fundamental role in the digital economy, this research focuses on designing and evaluating home delivery allocation policies that not only seek operational efficiency that benefits the platform, but also promote the welfare of all actors involved in this system. The methodological approach is based on discrete event simulation using real data from a leading Colombian home delivery company to develop and experiment with several simulation models using Python. The current operating model is explored and new welfare policies that seek to improve the distribution of profitability are proposed. This study reflects the approximate-to-reality dynamics of delivery operations, where proximity, availability, and order delivery efficiency are key factors. By modeling these aspects, the simulation provides a tool for understanding and optimizing home delivery operations in the real world.

**Keywords:** Home delivery, stakeholder welfare, discrete event simulation.

## 1. Introducción

Las plataformas domiciliarias han tenido un gran auge en los últimos años. Cada vez más personas y tiendas a nivel mundial participan de una actividad económica en las que interactúan a través de estas plataformas, que permiten tener un producto a la mano en el menor tiempo posible o acceder a un servicio de manera inmediata.

Actualmente existen una gran variedad de aplicaciones disponibles para dispositivos móviles que permiten ágilmente acceder a sus servicios con el simple hecho de contar con un teléfono inteligente, pero esto es quizás solo la parte que percibe cada uno de los actores que hacen parte de esta actividad. Sin embargo, detrás de esta interfaz se encuentra un complejo sistema que interrelaciona a los distintos actores, donde la relación de mutualismo se establece con el objetivo de que todos obtengan un beneficio económico dependiendo de la función que desempeñan.

Al analizar el funcionamiento de estas plataformas y su servicio de entrega de productos, se destaca la interacción de cuatro actores, (i) un usuario o cliente quien demanda un producto determinado, (ii) un proveedor o tiendas que ofrece lo requerido en las condiciones ofertadas, (iii) un domiciliario o intermediario quien recoge el producto en el establecimiento del proveedor y asegura de que este llegue a la ubicación especificada por el usuario, completando así la entrega final y (iv) la plataforma digital quien interconecta los actores anteriormente nombrados determina funciones y distribuye el lucro de la actividad. Las tiendas, como actores fundamentales en este sistema, se enfrentan a desafíos y oportunidades únicas. La digitalización y el aumento de las ventas en línea han impulsado a las tiendas a adaptar sus operaciones para satisfacer la demanda de entrega rápida. Los domiciliarios, por su parte, desempeñan un papel esencial siendo el enlace entre las tiendas y los usuarios. Su capacidad para recorrer la ciudad y entregar los pedidos de manera oportuna y segura es esencial para la satisfacción del cliente y la reputación del servicio. Los usuarios, cuyas expectativas de satisfacción y rapidez continúan creciendo, son el motor del crecimiento en el sector, motivando a las tiendas y a la plataforma a innovar y mejorar constantemente. Por último, la plataforma se sitúa en el centro de esta red, facilitando las transacciones y la logística entre los otros tres actores, y a menudo también influye en la estructura de precios y las políticas que afectan a las condiciones de trabajo de los domiciliarios.

Con lo anteriormente descrito, se convierte en una referencia en este documento empresas como Rappi, una empresa cuyo origen es colombiano, pero que hoy en día ofrece sus servicios en varios países Latinoamericanos o Uber Eats que fue creada por Uber, una famosa empresa francesa que ha trascendido sus servicios a nivel mundial.

Por tal razón, este documento parte de la realidad en la cual cada una de las tareas de los actores y la distribución monetaria de esta actividad comercial son dirigidas por medio de algoritmos y lógicas de programación que buscan la eficiencia operativa. También se describe la finalidad de este proyecto como la necesidad de proponer un modelo de bienestar que encuentre una forma adecuada de distribución equitativa de la utilidad derivada del comercio entre la plataforma de domicilio y sus actores involucrados, dando relevancia a los proveedores de servicios (tiendas,

restaurantes, droguerías) debido a que en ellos no se ha realizado mayor profundización en diferentes estudios previos a esta investigación y que se desarrollaron en el marco de esta materia. De manera correlativa, la finalidad de este estudio va en pro de la mejora en el nivel de servicio que ofrece este modelo económico de plataformas.

Lo descrito anteriormente, parte de la definición del costo fijo del producto, el costo que el proveedor paga a la aplicación para comercializar su producto o el valor que la tienda descontó para que la plataforma sea quien lo comercialice y el costo de domicilio. Sin embargo, esos valores de investigación actualmente no son equitativos para las partes en esta actividad comercial.

## **2. Estado de arte**

Con la finalidad de mejorar la eficiencia y rentabilidad de las operaciones de entrega de alimentos Reyes (2018) crea algoritmos con base en la optimización para resolver el problema de enrutamiento de entrega de comida (MDRP) teniendo en cuenta diversos factores de interés en el sistema como disponibilidad de los domiciliarios, ubicación y capacidad de los restaurantes y utilizando un algoritmo que usa la técnica de emparejamiento repetido con horizonte móvil, asigna eficientemente los domiciliarios a una próxima entrega.

En relación a los restaurantes como agentes partícipes de la actividad desarrollada por las plataformas de entrega de domicilios, existen estudios más empíricos e incluso cualitativos como el realizado en 2019 en el cual se efectuó una encuesta a 125 restaurantes con el objetivo de conocer la gestión de los inventarios de insumos dado a que la demanda es demasiado incierta y gracias a estas plataformas ha aumentado últimamente, esto se hizo con el fin de dar recomendaciones e información útil con el fin de buscar bienestar a la operación de los restaurantes para que no tuvieran falta de *stock* ni generaran desperdicios de alimentos e insumos (Das y Ghose, 2019).

Cabe resaltar que la entrega de comida de los restaurantes fue estudiada por Ulmer et al. (2020) en donde teniendo en cuenta que los plazos y tiempos de preparación son aleatorios, y son a su vez unos de los principales desafíos de la entrega de alimentos a domicilio, propusieron una solución dinámica que ofrecía mayor eficiencia en la recogida y entrega de comidas. Desarrollaron un modelo dinámico de recogida y entrega mediante el uso de variables aleatorias usando una metodología basada en teoría de grafos, programación matemática y simulaciones, teniendo en cuenta restricciones logísticas, capacidad del vehículo y ventanas horarias para recogida y entrega. También, los restaurantes no han sido ampliamente estudiados como un actor sino más bien desde el punto de vista de la operación en donde se considera como una restricción ya sea de capacidad, tiempo de preparación o calidad que va relacionada directamente con la satisfacción del cliente. (seghezzi et al. 2021).

Por otra parte, González (2021) describe el modelo de operación de las plataformas de domicilios sobre demanda. Gracias al estudio identifica que los domiciliarios que trabajan por medio de estas plataformas no cuentan con la libertad que se les promete y eso afecta directamente su bienestar. En su proyecto busca realizar cambios al algoritmo de asignación de tal forma que los

domiciliarios que trabajan en estas plataformas tengan mayor libertad sobre las decisiones relacionadas a su labor y se priorice dicho bienestar. En esta investigación se utilizó información real de una plataforma de domicilios colombiana. Se realizaron cambios en el algoritmo inicial con el fin de contener componentes que brindaran bienestar, se crearon cuatro modelos gracias a estos cambios. El modelo corporativo ecuánime y su variante sin *bundle* buscan optimizar el tiempo de entrega, con la particularidad de que en el modelo sin *bundle* cada domiciliario realiza una única entrega por ruta. Ambos modelos se caracterizan por una asignación equitativa de pedidos, tomando en cuenta el tipo de vehículo de los domiciliarios para distribuir las rutas de forma justa. Por otro lado, el modelo de priorización ecuánime se distingue por asignar pedidos con preferencia a aquellos domiciliarios que han completado menos entregas, buscando una distribución balanceada del trabajo y promoviendo la equidad laboral dentro de la plataforma. De los modelos probados, el mejor desempeño en las estadísticas calculadas es el modelo corporativo sin *bundle*, es decir, enviar un domiciliario con una única orden a la vez.

Haciendo referencia a los domiciliarios, el bienestar de estos fue descrito en un modelo realizado por Giraldo (2022) en donde su investigación mejora las operaciones de las plataformas domiciliarias por medio de un modelo de trabajo colaborativo. El modelo de simulación-optimización propone realizar cambios al modelo de asignación de pedidos ya establecido por las plataformas para incidir en el bienestar de los domiciliarios.

Finalmente, las ganancias generadas por el negocio de entrega de comidas por medio de plataformas digitales se distribuyen de forma desigual entre los actores del sistema según se plantea en el artículo *FairFoody: Bringing in Fairness in Food Delivery* (Gupta et al. 2022) por lo que proponen un algoritmo llamado *Fair Foody* en donde aborda dicha desigualdad utilizando una estrategia de coincidencia bidireccional o emparejamiento bipartito en tiempo real que permite asignar domiciliarios de entrega a las solicitudes de pedidos de manera equitativa teniendo en cuenta datos históricos como experiencias previas del cliente y del domiciliario, sin dejar de lado el nivel de servicio requerido y la distribución de ingresos generados de manera justa. Los datos disponibles para realizar el algoritmo son datos reales de entrega de alimentos de algunas ciudades importantes de la India los cuales fueron proporcionados por un proveedor, informando la trayectoria de los vehículos utilizados para realizar las entregas, la red vial de las ciudades, ubicación de tiendas y clientes, entre otras.

La literatura existente sobre los sistemas de entrega de comidas a domicilio ha abordado diversas dimensiones de los modelos corporativos y de bienestar para algunos actores. Sin embargo, hay una carencia notable en estudios que integren y analicen de manera integral a todos los actores del sistema. No se ha encontrado un modelo en la literatura que considere de forma exhaustiva a las tiendas, asignándoles un rol y una relevancia proporcional que refleje su contribución y las repercusiones que tienen en el sistema de entrega de comidas.

### 3. Descripción de Problema

Las plataformas digitales de domicilios también son denominadas como empresas *peer-to-peer*, en la cual se utilizan plataformas digitales para conectar consumidores con prestadores de bienes y servicios de una manera no tradicional y entre sus problemáticas legales que surgen de la actividad de estas empresas, es la falta de claridad en cuanto a la responsabilidad legal y fiscal, pues en la mayoría de los casos, las empresas interactúan en contextos con vacíos en la ley que regulen su actividad y cuya consecuencia se puede resumir en riesgos legales para los usuarios y proveedores de bienes y servicios (Sundararajan, 2014).

En este documento se hará enfoque en un caso de estudio de una empresa colombiana que ha tenido un crecimiento en el mercado de domicilios online. Esta empresa es una multinacional colombiana que por medio de una aplicación móvil permite a sus usuarios pedir todo tipo de productos y servicios. Luego de indagar dentro de la plataforma, se evidencia que no tiene pública la política de términos y condiciones con la que realiza la actividad mercantil con sus aliados comerciales y tampoco se describe puntos esenciales como la tarifa de ganancia que obtiene los negocios registrados en la plataforma y la comisión que se le cobra. Además, tampoco se describe la distribución de responsabilidad que tiene cada una de las partes ante posibles riesgos que se puedan presentar dentro de la actividad mercantil, ni la manera en que se distribuyen el valor del servicio prestado.

En 2022, se reportó que algunos domiciliarios, ganaban solo el 23% del costo del servicio. Esto significaba ingresos de entre 1000 a 3000 pesos por entrega, que podrían sumar 45.000 pesos al día si completaban 15 servicios a 3000 pesos cada uno. (Portafolio, 2023). Además, la empresa informa que el costo que le paga a los domiciliarios es de 1000 pesos por kilómetro que debe recorrer (Osorio, 2023).

En las plataformas de entrega a domicilio, los domiciliarios cuentan con una función de "autoaceptación" diseñada para optimizar el número de pedidos atendidos durante su jornada laboral. Esta característica permite que los pedidos sean asignados automáticamente a los domiciliarios sin que estos tengan la posibilidad de seleccionar o rechazar específicamente cada uno en función de criterios como la compensación económica o la distancia de entrega.

Ahora bien, dado que estas plataformas no están estrictamente reguladas, operan bajo un modelo corporativo que inicia cuando el usuario ingresa a la aplicación para realizar la solicitud de un pedido a un restaurante inscrito, la plataforma que actúa como intermediaria, envía dicha solicitud al restaurante elegido para que posteriormente empiece su elaboración. Mientras esto último ocurre, la plataforma debe asignar un domiciliario para que haga la respectiva entrega y para esto se realiza un proceso de subasta con el fin de ofrecer el pago por realizar la entrega. Los domiciliarios eligen si tomarla o rechazarla, esta subasta puede variar cada dos a cinco minutos, aumentando el pago y posibles domiciliarios disponibles (Gonzales, 2021). Con estas subastas el proceso de elegir la entrega de un producto puede resultar en demora. Primero, al no ofrecerse una remuneración adecuada inmediata, los domiciliarios pueden tardar en aceptar realizar la entrega y la orden no es

enviada a la tienda, lo que repercute en el tiempo de respuesta del restaurante, que se ve obligado a esperar a que un domiciliario tome el pedido. Luego, el cliente se enfrenta a una espera más larga de lo necesaria para recibir su pedido. Finalmente, en el peor escenario, si ningún domiciliario acepta la oferta debido a una oferta insuficiente, el restaurante no pueda realizar la venta del producto y no se satisfaga la solicitud del cliente ocasionando así pérdidas para todos los actores y disminuyendo el nivel de servicio.

Por lo anterior, este proyecto busca crear modelos de simulación avanzados de plataformas de entrega de pedidos a domicilio con información de instancias reales y sobre la cual se han desarrollado modelos anteriormente. El objetivo es diseñar políticas integrales que promuevan el bienestar equitativo de todos los actores involucrados, incluyendo a las tiendas, quienes han sido olvidadas en estudios anteriores, asignándoles un papel más destacado dentro del modelo. Se busca equilibrar la distribución de los beneficios de manera justa reconociendo la contribución de cada actor del sistema de entrega de pedido.

#### **4. Metodología**

La metodología propuesta adopta un modelo de simulación de eventos discretos, que se adecúa para analizar sistemas de alta complejidad como es el caso del sistema de entrega de pedidos a domicilio. Este modelo ofrece una réplica cercana a la realidad operativa, permitiendo un estudio detallado y profundo de las dinámicas involucradas. Se estructura en torno a cuatro entidades principales, que representan a los actores clave del sistema, y se enriquece con recursos adicionales como los pedidos y los vehículos, cada uno con sus atributos diferenciados.

Dentro de este marco, se desencadenan una serie de eventos tales como la generación, aceptación, rechazo, preparación, recogida y entrega de pedidos. Cada evento es manejado secuencialmente, marcado por un reloj interno que avanza cronológicamente a través de los sucesos. Esta progresión temporal permite no solo la captura de la secuencia de actividades, sino también la actualización precisa de indicadores estadísticos. Estos acumuladores son fundamentales para monitorear y ajustar variables de estado y de salida, proporcionando así una visión dinámica y actualizada del sistema.

Para realizar esta simulación de entrega de pedidos a domicilios, los datos de entrada se han cargado y manejado con ayuda de diversas librerías de Python con el fin de realizar análisis exploratorio y procesamiento de los datos. Estos últimos son cargados desde una base de datos que consta de 24 instancias de información real sobre la entrega de pedidos a domicilio de una reconocida empresa colombiana.

Cada instancia hace referencia a un día completo de pedidos y cuenta con archivos relacionados a las tiendas, domiciliarios y las ordenes realizadas por los usuarios. En la información relacionada a las tiendas se tiene el ID de la tienda y su ubicación por medio de latitud y longitud. En la información relacionada a los domiciliarios, se tiene el ID de cada domiciliario, el tipo de vehículo en el que se transporta para entregar el pedido, ubicación inicial por medio de latitud y longitud, la

hora en la que se conectó en la aplicación de pedidos y la hora de desconexión de esta. Finalmente, en la información relacionada a las ordenes se tiene el ID de la orden, el ID de la tienda a la que se relaciona dicha orden, la ubicación del usuario por latitud y longitud, hora en la que se realizó la orden, tiempo en el que se inicia la preparación de la orden, tiempo en el que la orden está lista para entregarse al domiciliario y cuando la orden debe entregarse en la ubicación del usuario.

Dicho esto, para llevar a cabo la lógica del problema de entrega de comidas a domicilio, se crea un simulador de eventos discretos en el software Python con ayuda de la librería *Simpy* que permite crear un entorno en donde el tiempo avanza a medida que se procesan los eventos y se relacionan los cuatro actores que hacen parte del sistema (domiciliarios, plataforma, tiendas y usuarios) simulando eventos como el desarrollo de procesamiento de órdenes, asignación de domiciliarios disponibles, política de rechazos, cálculos de ganancias, cálculo de pérdidas o costo de oportunidad, etc. Para realizar esta simulación se elige una de las instancias como *input* y el intervalo de tiempo que se quiere simular a través de objetos *datetime* con parámetros que delimitan el periodo de tiempo simulado, una vez terminada la simulación, se genera un *output* con las ordenes asignadas a un domiciliario, ganancia de cada actor y métricas de pedidos rechazados.

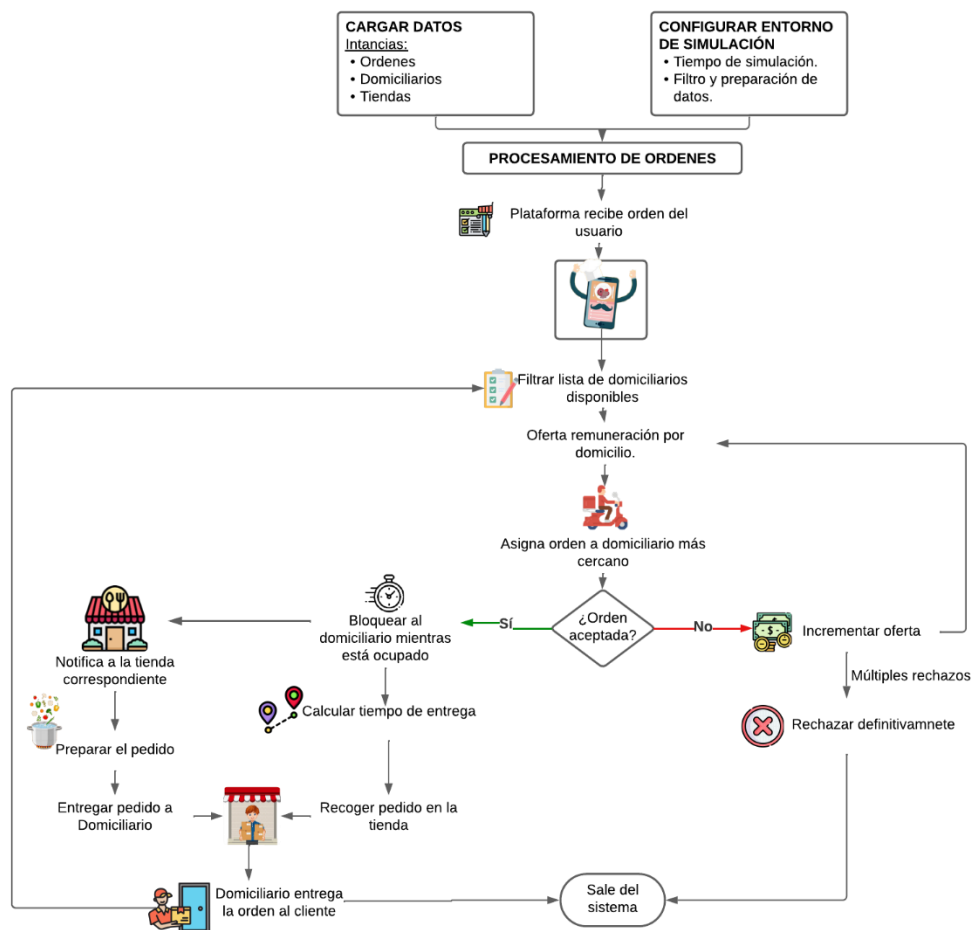


Figura 1. Diagrama de simulación de pedidos a domicilio.

#### 4.1 Actores de la simulación:

- **Domiciliarios**

Los domiciliarios son entes con diversas características, atributos y capacidades de la vida real. Se caracteriza por tener una ubicación inicial y un tipo de vehículo en el que se traslada (motocicleta, bicicleta, carro, o a pie) que determina la velocidad de traslado del domiciliario y por ende el tiempo estimado de entrega. Además, los domiciliarios hacen parte del proceso de selección y asignación de las órdenes teniendo en cuenta la disponibilidad, y eficiencia de la siguiente manera:

*Domiciliarios disponibles:* Cuando se recibe un pedido, la plataforma selecciona los domiciliarios disponibles cuando se carga la orden y que estén cerca de la tienda.

*Selección de domiciliario más cercano:* A cada domiciliario disponible se calcula la distancia desde su ubicación actual hasta la tienda en donde se recoge el pedido, para esto, se utiliza la función *great\_circle* que permite estimar la distancia más corta entre dos puntos, eligiendo así al domiciliario que se encuentra más cerca al punto de recolección del pedido.

##### **Algoritmo 1.** Selección de domiciliario más cercano

---

```
1 if available_couriers IS NOT empty then
2   Initialize closest_courier = None
3   Initialize closest_distance = float('inf')
4   for courier in available_couriers do
5     courier_id = courier['courier_id']
6     dist = calculateDistance(order.drop_off_lat, order.drop_off_lng, courier['on_lat'],
7     courier['on_lng'])
8     if dist is less than closest_distance then
9       Update closest_courier with the current courier
10      Update closest_distance with dist
11    End if
12  End for
13  if closest_courier IS NOT NULL then
14    Get ID of the closest courier
15    courier_id = closest_courier['courier_id']
16  End if
17 End
```

*Evaluación de rechazo:* Cada domiciliario tiene la potestad de decidir si acepta o rechaza un pedido con base al valor monetario ofrecido por la plataforma con relación al domicilio y la distancia que debe recorrer para realizar la entrega. El valor ofrecido varía de acuerdo con la distancia y rechazos previos.



*Confirmación de la asignación:* Cuando un domiciliario acepta la orden, se confirma la asignación del pedido y se procede al proceso final de la orden, como calcular el tiempo estimado de entrega, tiempo en el que el operario estará ocupado y no podrá aceptar nuevas órdenes, costos y ganancias.

- **Tiendas**

Las tiendas son entidades con ubicaciones específicas que procesan y proveen los productos solicitados por los usuarios y notifican su estado de “listo para recoger” ayudando así a que el flujo de los pedidos se logre efectivamente desde el origen hasta el destino final. La interacción de las tiendas se presenta así:

*Recepción del pedido:* Cuando un pedido es realizado por el usuario, se detalla información sobre la tienda desde donde se solicita el producto, la plataforma identifica la tienda especificada de acuerdo con el ID correspondiente.

*Cálculo de distancia y tiempo:* Por la ubicación geográfica de la tienda y el usuario a quien entrega el pedido, se calculan las distancias entre ambos puntos para estimar los tiempos de entrega y calcular los costos asociados al domiciliario según la distancia a recorrer.

*Notificación y preparación del pedido:* La plataforma notifica a la tienda correspondiente sobre el nuevo pedido para que empiece su elaboración, en este punto se tiene en cuenta el tiempo de preparación del pedido para que el domiciliario pueda recogerlo,

*Interacción con domiciliarios:* La tienda interactúa indirectamente con él notificando a la plataforma que el pedido está listo para recogerse, por lo que, en el cálculo, se considerará el mayor tiempo entre elaboración del producto y el de llegada a la tienda.

- **Usuarios**

Los usuarios toman un papel dentro de la economía de plataformas al momento de realizar un pedido, es en este instante cuando inician su interacción con los otros actores del sistema.

*Generación de pedidos:* Un usuario con ID único genera la orden de un pedido en una hora determinada, este pedido entra al sistema a la hora exacta para que se inicie con el procesamiento. Los usuarios son quienes generan la demanda de pedidos y las ubicaciones de entrega final.

*Información del pedido:* Una vez generado el pedido y el usuario realiza el pago, se espera a que el pedido sea aceptado o rechazado definitivamente. Cuando la solicitud es aceptada, la plataforma informa el tiempo estimado de entrega y se lo informa al usuario.

- **Plataforma**

La plataforma orquesta las actividades relacionadas con el procesamiento y entrega de pedidos, integra y sincroniza la interacción con los demás actores del sistema. Sus funciones en esta lógica son:

*Recepción y coordinación de pedidos:* La plataforma recibe y registra los detalles de los pedidos cuando los usuarios lo han solicitado y busca el domiciliario que realizará la entrega de dicho pedido basándose en disponibilidad y ubicación para luego informar a la tienda relacionada para que inicie la preparación del pedido.

*Procesamiento de órdenes:* La plataforma por medio de un método de procesamiento de órdenes maneja la lógica central de cómo se procesan los pedidos internamente. Incluye la recepción de pedidos, búsqueda del domiciliario disponible y más cercano, gestiona las respuestas de aceptación o rechazo de un pedido por los domiciliarios, realiza cálculo y tiempo estimados de entrega.

*Asignación de domiciliarios:* La plataforma selecciona a los domiciliarios de acuerdo con la proximidad a la tienda y disponibilidad. Para esto, filtra los domiciliarios que pueden atender el pedido y mediante un proceso iterativo, ofrece el pedido a los domiciliarios hasta que uno acepta y se continua el proceso para entregar la orden o, por otro lado, en donde se tiene que cancelar el pedido definitivamente porque se alcanza el límite de rechazos o el tiempo de espera es demasiado alto y el pedido ya no se alcanza a entregar en la hora esperada.

*Cálculo de ganancias y pérdidas:* Las ganancias se calculan para cada actor del sistema. La ganancia del domiciliario se calcula de acuerdo con el valor ofrecido por el domicilio, la ganancia de la tienda se calcula teniendo en cuenta el costo de la orden menos un porcentaje del 10 % al 20 % que corresponde al pago que esta debe realizar a la plataforma por cada orden vendida. La ganancia de la plataforma es el pago que recibe de la tienda, más el costo del servicio, más el valor sobrante del costo real del domicilio. Este último indica que, si un domiciliario acepta una orden por un valor menor al valor real del domicilio, la cantidad restante es considerada como una ganancia para la plataforma por el no pago de este dinero. Por su parte, las pérdidas son consideradas el costo de oportunidad por el rechazo definitivo de una orden, esto incluye la venta no realizada de la tienda, lo que se le hubiera pagado a un domiciliario, y lo que la plataforma hubiera recibido, además es un indicador de no cumplimiento al servicio solicitado por el cliente.

*Dinámica de rechazo:* La probabilidad de rechazo o aceptación de la orden se ajusta dinámicamente según el valor ofrecido al domiciliario para la entrega, simulando la toma de decisiones de los domiciliarios en situaciones donde se considera la relación de esfuerzo y compensación. La plataforma calcula el costo por distancia como la distancia en kilómetros y un costo fijo por kilómetro. Si el valor ofrecido del domicilio es mayor al costo real por distancia, entonces la probabilidad de que un domiciliario rechace es sólo del 10 %, pero si el valor ofrecido del domicilio es menor al costo real, la probabilidad de rechazo aumenta al 80%.

*Cálculo de costos para domiciliarios:* El costo por distancia se estima que es de 1000 COP por cada kilómetro que debe recorrer el domiciliario. Sin embargo, el valor mínimo ofrecido por el domicilio es determinado por la plataforma. Entonces, el primer valor ofrecido al domiciliario para realizar la entrega es el mínimo fijado, el valor queda fijo por 2 minutos y si es rechazado, se suma una décima parte del costo por distancia total al valor ofrecido, así sucesivamente por cada rechazo va aumentando hasta que la orden es aceptada o rechazada definitivamente. (Ver ecuación 1)

$$\text{Costo por distancia total} = \text{distancia tienda a cliente} * 1000 \quad (1)$$

## 4.2 Procesamiento de una orden

*Registro del pedido:* Al recibir un pedido desde la instancia de órdenes, lo primero que se hace es registrar la hora de colocación del pedido, posteriormente se busca la tienda correspondiente y se le informa que ha llegado un nuevo pedido.

*Búsqueda de domiciliarios disponibles:* Se busca en la lista de domiciliarios a lo que están disponibles. Los domiciliarios disponibles son aquellos que están conectados a la aplicación y que no están realizando la entrega de ningún pedido a la hora en la que se crea la nueva orden, además se calcula la distancia *haversine* de los domiciliarios disponibles a la tienda para elegir a los más cercanos con un modelo de ruteo.

*Lógica de aceptación o rechazo de la orden:* Cada domiciliario disponible evalúa si acepta o rechazada realizar la entrega de un pedido, esta decisión es tomada de acuerdo con una probabilidad ajustada que varía con base a la comparación entre el valor monetario ofrecido y el costo real por distancia. Cuando un domiciliario rechaza un pedido, se incrementa el contador de rechazos para el pedido en específico, y hace que el valor ofrecido sea más interesante para los siguientes domiciliarios y que así la probabilidad de rechazo disminuya.

Los rechazos además generan demoras en el tiempo de asignación de los pedidos, cuando un pedido es rechazado múltiples veces, se prolonga el tiempo antes de que un domiciliario esté efectivamente en ruta con la orden.

*Cálculo de tiempos de entrega y disponibilidad:* Una vez el pedido es aceptado por un domiciliario, se calculan varios tiempos para conocer el tiempo real de entrega del pedido. (Ver ecuación 2) Cuando el pedido se ha entregado, el domiciliario se devuelve a su punto de origen para seguir aceptando nuevas órdenes, para conocer el tiempo que el domiciliario permanece ocupado entregando una orden y vuelve a estar disponible, al tiempo de entrega se suma el tiempo de regreso a la ubicación inicial. (Ver ecuación 3)

$$t \text{ de entrega} = \text{Max}(t \text{ origen a tienda} ; t \text{ preparación}) + t \text{ tienda a cliente} \quad (2)$$

$$t \text{ disponibilidad} = t \text{ de entrega} + t \text{ tienda a cliente} + t \text{ origen a tienda} \quad (3)$$

*Actualización de ganancias:* Se calcula el total de ganancias para cada actor del sistema. La ganancia de los domiciliarios es la sumatoria de cada valor ofrecido por orden. La ganancia de la tienda es el costo de la orden menos el pago que debe realizar a la plataforma por cada orden vendida, finalmente, la ganancia de la tienda es el pago recibido de las tiendas, más el costo de servicio cobrado a los usuarios, más el sobrante del costo por distancia.

## Algoritmo 2. Cálculo de ganancias totales para cada actor

---

```
1 Generate random order cost between 40000 and 100000
2   order_cost = generateRandomNumber (40000, 100000)
3 Calculate payment from store to platform
4   payment_store_to_platform = order_cost * generateRandomNumber (0.1, 0.2)
5 Calculate store's earnings
6   earnings_store = order_cost - payment_store_to_platform
7 Calculate service cost
8   service_cost = order_cost * generateGaussianRandomNumber (0.1, 0.03)
9 Set courier's earnings to the offered value
10  earnings_courier = offered_value_for_delivery
11 Calculate user's total cost
12  total_cost_user = order_cost + earnings_courier + service_cost
13 Determine surplus from distance cost
14  if distance_cost > earnings_courier then
15    surplus_distance_cost = distance_cost - earnings_courier
16  else
17    surplus_distance_cost = 0
18  end if
19 Calculate platform's earnings
20  earnings_platform = payment_store_to_platform + surplus_distance_cost +
21  service_cost
21 Update total earnings
22  total_earnings_couriers += earnings_courier
23  total_earnings_stores += earnings_store
24  total_earnings_platform += earnings_platform
25  total_sales += total_cost_user
26 end
```

### 4.3 Resultados de la simulación

Los resultados obtenidos se presentan en un solo archivo de Excel para cada instancia de la siguiente manera:

*Domiciliarios:* ID del domiciliario, tipo de vehículo en el que realiza las entregas, total de órdenes atendidas al día, ganancia total del domiciliario.

*Órdenes:* ID de la orden, Costo de la orden, total de rechazos que tuvo antes de ser atendida, costo de servicio, tiempo de entrega, costo por distancia y valor ofrecido al domiciliario.

*Tiendas:* ID de la tienda, cantidad de pedidos entregados al día, ganancia total de la tienda, Pago total realizado a la plataforma.

*Plataforma:* Se calcula la suma total de las ventas, desglosando las ganancias de la plataforma, los domiciliarios y las tiendas. Además, se incluye el número total de órdenes rechazadas y el costo de oportunidad perdido correspondiente a las tiendas, los domiciliarios y la plataforma.

El código de simulación aquí descrito se puede ver en el repositorio Github simulación-plataforma-de-pedidos (Caballero, 2023).

## 5. Condiciones actuales de los actores del sistema.

Las instancias que son días de pedidos en diferentes ciudades de Colombia están agrupadas de acuerdo con las órdenes y domiciliarios como se presenta en la Figura 1.

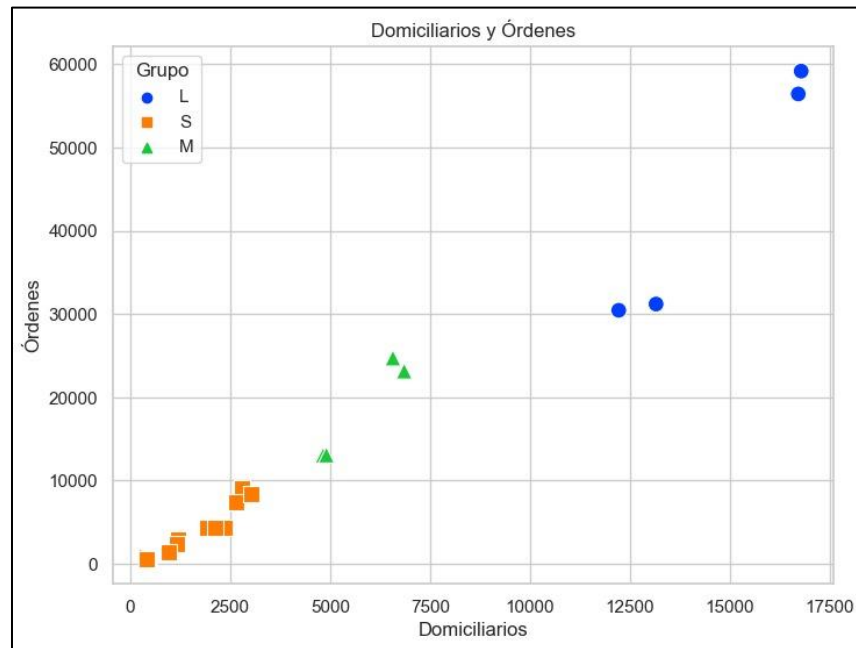


Figura 2. Clasificación de las instancias por tamaño.

La Figura 2 presenta una clasificación de diversas instancias basada en la cantidad de órdenes y la disponibilidad de domiciliarios durante el día, distribuyendo las instancias en tres categorías de tamaño. La categoría "G" incluye las instancias con la mayor cantidad de órdenes y domiciliarios, y está representada por los puntos azules en el extremo superior derecho de la gráfica. La categoría "M" se refiere a instancias de tamaño intermedio en términos de órdenes y domiciliarios, identificadas en el centro de la gráfica de color verde. Finalmente, la categoría "S" engloba a las instancias con menor número de órdenes y domiciliarios representadas con el color naranja. A continuación, se especifica las instancias pertenecientes a cada tamaño.

Tabla 2. Clasificación de instancias por tamaño

Tamaño	Instancias
S	1, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 19, 21, 22, 23
M	2,8,14,20
L	0,6,12,18

Ahora, con la información inicial de los actores se obtiene información relevante del comportamiento inicial como lo es su ubicación, disponibilidad, proximidad, etc. Estos elementos se muestran en las siguientes figuras.

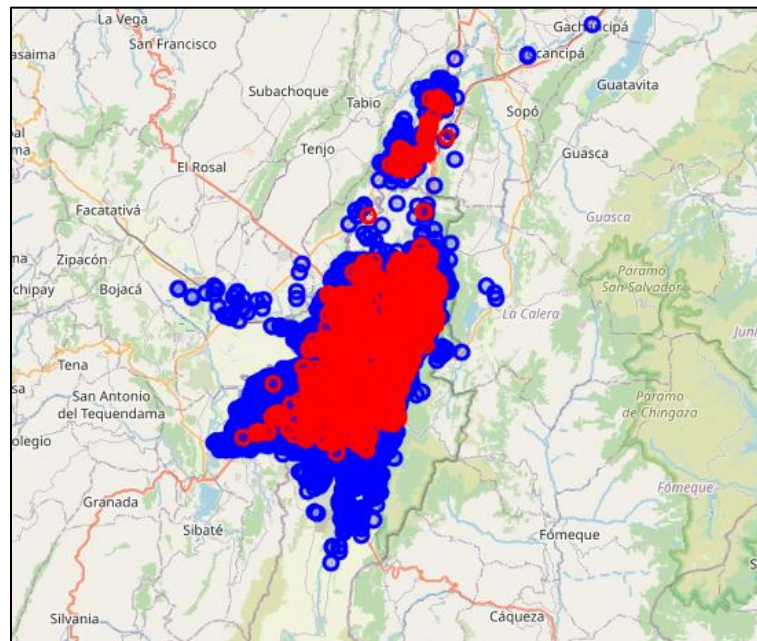


Figura 3. Mapa de tiendas y domiciliarios en una instancia de Bogotá

La Figura 3 muestra la distribución geográfica de las tiendas y domiciliarios de una instancia ubicada en la ciudad de Bogotá, con puntos azules que indican la ubicación de las tiendas y puntos rojos representando a los domiciliarios, se destaca que los domiciliarios se sitúan en las inmediaciones de las tiendas que es el lugar en donde deben recoger el pedido para luego ser entregado.

Tabla 1. Distancia promedio que recorren los domiciliarios por orden, para cada instancia

Instancia	Distancia promedio	Instancia	Distancia promedio
0	1.57	12	1.55
1	1.49	13	1.59
2	1.55	14	1.52
3	1.49	15	1.45
4	1.63	16	1.61
5	1.58	17	1.57
6	1.58	18	1.54
7	1.65	19	1.60
8	1.58	20	1.51
9	1.49	21	1.50
10	1.68	22	1.56
11	1.60	23	1.63

La Tabla 1 proporciona información sobre la distancia promedio que los domiciliarios deben recorrer para completar la entrega de pedidos en cada instancia. Los domiciliarios deben ir desde su ubicación inicial a la tienda y posteriormente desde la tienda hasta la ubicación del usuario. Los valores indican que la distancia promedio que un domiciliario recorre para cada entrega oscila entre 1.45 y 1.68 kilómetros, lo que indica que, sin importar el tamaño de la ciudad, la distancia que deben recorrer es similar. Dado que la distancia promedio no excede los 2 kilómetros y teniendo en cuenta que la plataforma ofrece 1000 pesos por kilómetro, estos no sobrepasarían los 2000 pesos por pedido.

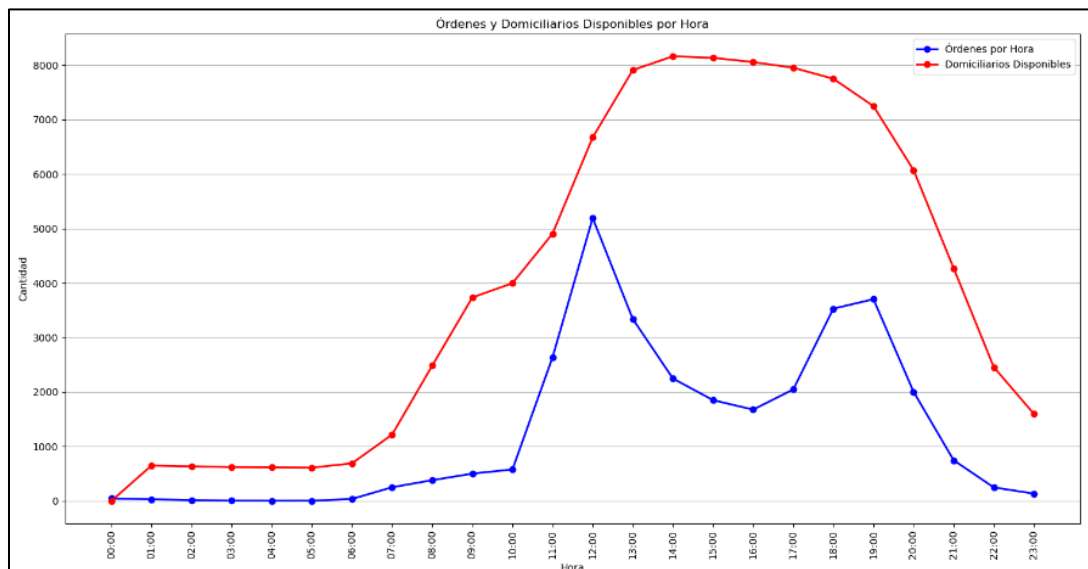


Figura 4. Cantidad de órdenes recibidas y domiciliarios disponibles por cada hora

En la Figura 4 se presenta una comparativa entre la cantidad de órdenes realizadas y el número de domiciliarios disponibles cada hora durante todo el día. Se observa una tendencia clara en donde ambas líneas aumentan significativamente al medio día y en la tarde-noche que coincide con los horarios de almuerzo y comida y disminuyendo hacia el final del día, sin embargo, hay domiciliarios conectados durante todo el día.

## **6. Modelos generados**

**Modelo corporativo:** Este modelo busca minimizar los costos operacionales del sistema y la rapidez en la entrega de pedidos. En este modelo se establece un valor mínimo de \$1000 COP y la plataforma estaría dispuesta a ofrecer hasta el 70% del costo generado por la distancia. Este modelo representa un enfoque medido en términos de gastos para la plataforma.

**Modelo subasta mejorada:** El objetivo de este modelo es determinar un valor mínimo del domicilio que sea más equitativa para los domiciliarios. En lugar de mantener un valor mínimo fijo de \$1000 COP, el modelo propone un valor inicial de \$2000 COP, con incrementos adicionales con base al costo por distancia. El valor ofrecido por el domicilio podría incluso igualar el costo completo por la distancia recorrida, lo que constituye una tarifa justa desde la perspectiva del domiciliario. Disminuyendo así los rechazos debido a ofertas bajas.

**Modelo subasta valor mínimo variable:** Este modelo hace que la compensación para los domiciliarios sea dinámico, basado en la distancia de cada entrega. El valor mínimo fijo ofrecido por un servicio de domicilio se establece como la tercera parte del costo por distancia que debe recorrer. Permitiendo que el valor ofrecido inicial sea proporcional al esfuerzo requerido para la entrega. Además, al igual que el “modelo subasta mejorada” existe la posibilidad de que el valor ofrecido por el domicilio se ajuste hasta alcanzar el costo total por la distancia recorrida o alcanzar un valor llamativo para que la orden sea aceptada más rápido.

## **7. Resultados**

### **7.1 Resultados modelo corporativo**

Los modelos fueron probados en las 23 instancias disponibles, lo que permitió que todos los datos fueran tratados exhaustivamente para obtener métricas y estadísticas de desempeño de cada una.





Figura 5. Porcentaje de ordenes rechazadas definitivamente en modelo corporativo.

La Figura 5 muestra la variación en el porcentaje de pedidos no aceptados para cada instancia evaluada, La proporción de rechazos varía desde 23% al 34%, lo que indica que una proporción significativa de pedidos no llega a concretarse. Estos rechazos representan pedidos que, dado que no fueron aceptados por un domiciliario, no fue posible que la tienda realizara la venta y, por lo tanto, no fue entregado al cliente. La tasa de aceptación global se mantiene por encima del 77%.

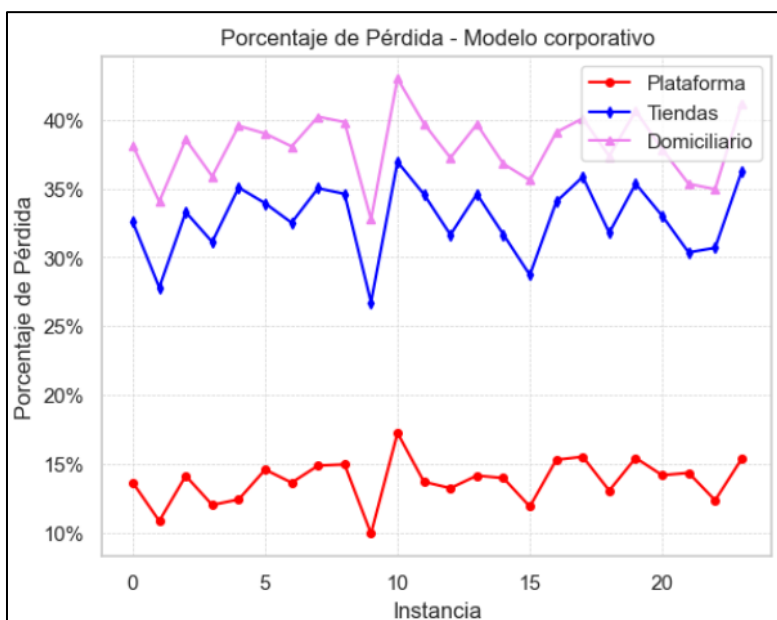


Figura 6. Porcentaje de pérdida económica para cada actor en modelo corporativo.

La Figura 6 ilustra el porcentaje de pérdida monetarias o costo de oportunidad de cada uno de los actores dentro del sistema debido a ordenes que fueron rechazadas definitivamente. La tendencia general muestra que los domiciliarios experimentan la mayor variabilidad en el porcentaje de pérdida y la mayor tasa variando del 34% al 43%, mientras que la plataforma presenta el porcentaje más bajo oscilando entre el 9% al 15%. Esta pérdida se debe a la acumulación de rechazos que aumentan el tiempo de espera para que una orden sea aceptada haciendo que no se logre entregar dentro de la ventana de tiempo.

## 7.2 Resultados modelo subasta mejorada



Figura 7. Porcentaje de ordenes rechazadas definitivamente en modelo subasta mejorado.

En la Figura 7 se observa una fluctuación constante en el porcentaje de rechazos de pedidos en todas las instancias, variando entre aproximadamente el 2.3% y 3.6% la mayoría de las instancias mantienen un nivel de rechazo relativamente estable y significativamente más bajo. Se refleja una notable mejora en la gestión de pedidos siendo aceptados por los domiciliarios para ser entregados, lo que conlleva más ventas de las tiendas y más nivel de servicio por parte de los clientes.

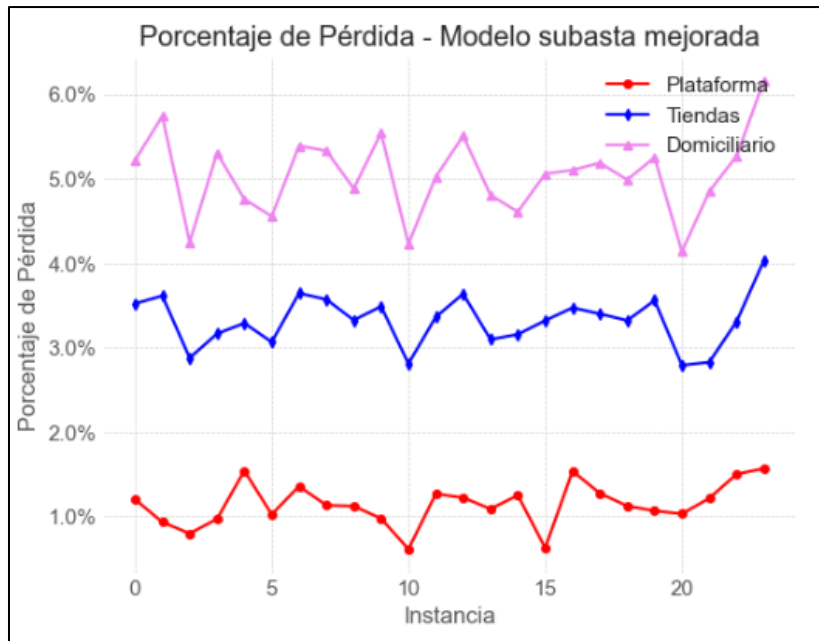


Figura 8. Porcentaje de pérdida económica para cada actor en modelo subasta mejorado.

La Figura 8 ilustra el porcentaje de pérdida que el modelo de subasta mejorado tiene en cada uno de los actores del sistema. Los domiciliarios continúan siendo los más afectados por las pérdidas, aunque en un rango reducido que va del 4% al 6%. Las tiendas también experimentan una disminución en sus pérdidas oscilando entre 2% y 4%. Finalmente, la plataforma también registra una mejoría siendo el menor porcentaje de pérdidas que fluctúa entre el 0.5% y el 1.5%.

### 7.3 Resultados modelo subasta valor mínimo variable



Figura 9. Porcentaje de ordenes rechazadas definitivamente en modelo subasta variable.

El modelo de subasta variable muestra un rango de rechazo de pedidos que va desde el 1.4% hasta el 3.1%. Este patrón se asemeja al observado en el modelo de subasta mejorada, aunque se caracteriza por presentar una variabilidad más contenida y sin picos extremos.

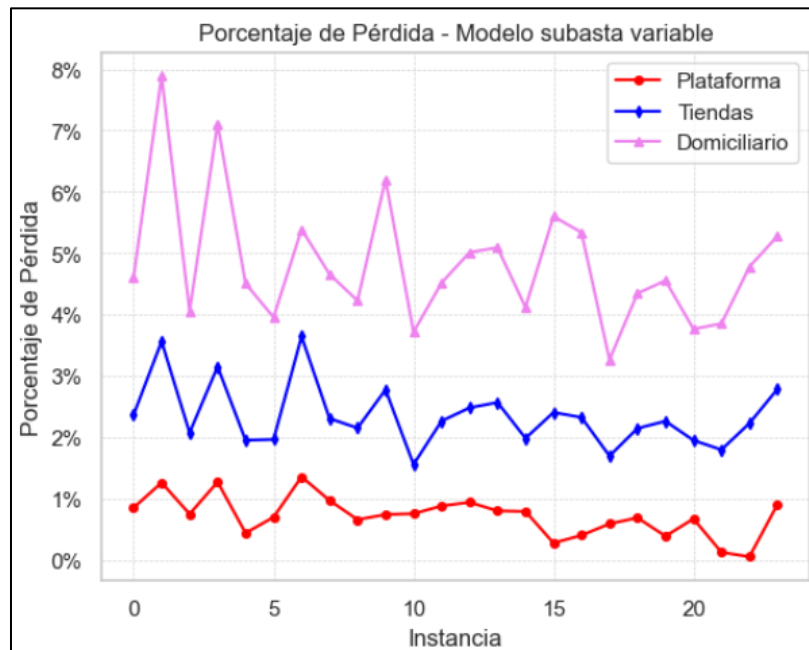


Figura 10. Porcentaje de pérdida económica para cada actor en modelo subasta variable.

En la Figura 10 se observa que los domiciliarios son los más impactados por el porcentaje de pérdidas, con un rango que oscila entre 3.2% al 8%, reflejando una variabilidad significativa y picos de pérdidas en ciertas instancias. Por otro lado, las tiendas experimentan una tasa de pérdida más estable oscilando entre el 1.7% y el 3.5%, esto representa una ligera disminución en sus porcentajes de ganancia en comparación con el modelo de subasta mejorada. Finalmente, la plataforma muestra un rango de pérdida entre el 0.2% y 1.3%, indicando una mejora con respecto al modelo de subasta mejorada.

## 7.4 Comparación de resultados entre modelos

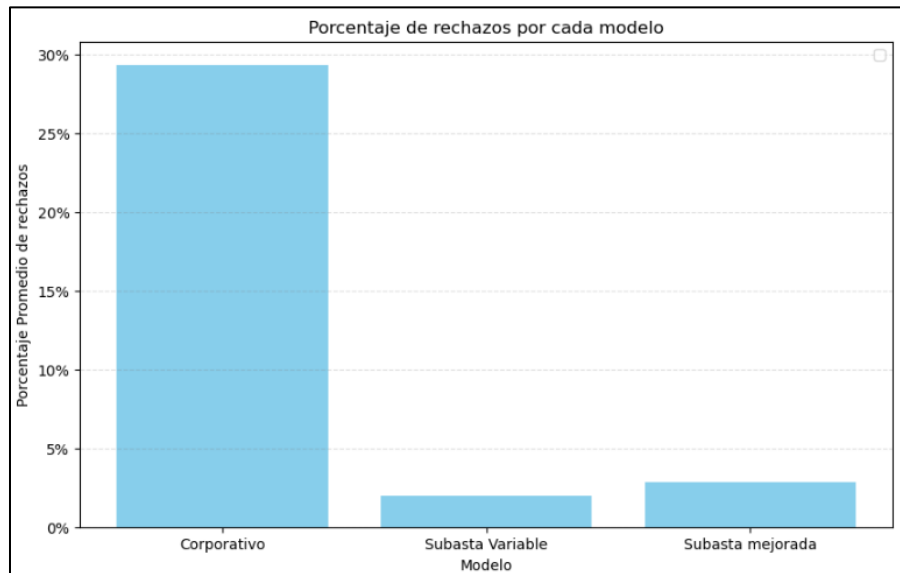


Figura 11. Porcentaje de pérdidas por cada modelo.

La Figura 11 compara el porcentaje promedio de rechazo de pedidos entre los tres modelos construidos. Se evidencia de manera significativa que el modelo corporativo presenta una tasa de rechazo considerablemente más alta, superando el 29%, lo que indica una frecuencia elevada de pedidos no entregados a los clientes bajo esta política. En contraste, los modelos de subasta variable y subasta mejorada muestran una notable mejora en este aspecto, con ambos porcentajes cayendo por debajo del 5%. De estos, el modelo de subasta variable registra el menor porcentaje de rechazos, alrededor del 2%, comparado con el 2.8% del modelo de subasta mejorada.

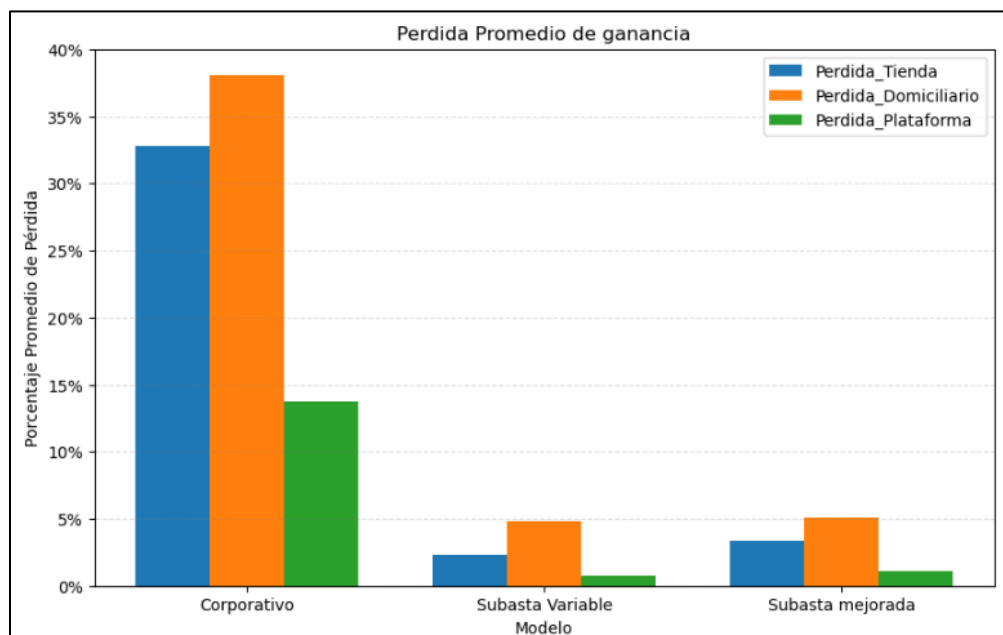


Figura 12. Porcentaje promedio de ganancia perdida por cada actor y modelo.

La Figura 12 presenta un análisis comparativo del porcentaje promedio de pérdidas económicas para los distintos actores bajo los tres modelos. En el modelo corporativo, se observa que las pérdidas son sustanciales para todos los actores: la plataforma sufre una pérdida del 14%, mientras que las tiendas y los domiciliarios experimentan pérdidas más pronunciadas, del 33% y 38% respectivamente. En cambio, bajo los modelos de subasta variable y subasta mejorada, se aprecia una importante mejora. La subasta variable en particular destaca por la reducción de pérdidas para las plataformas y tiendas, En cuanto a los domiciliarios, las diferencias entre el modelo de subasta mejorada y el de subasta variable son mínimas, lo que indica que ambos modelos ofrecen beneficios comparables para los actores.

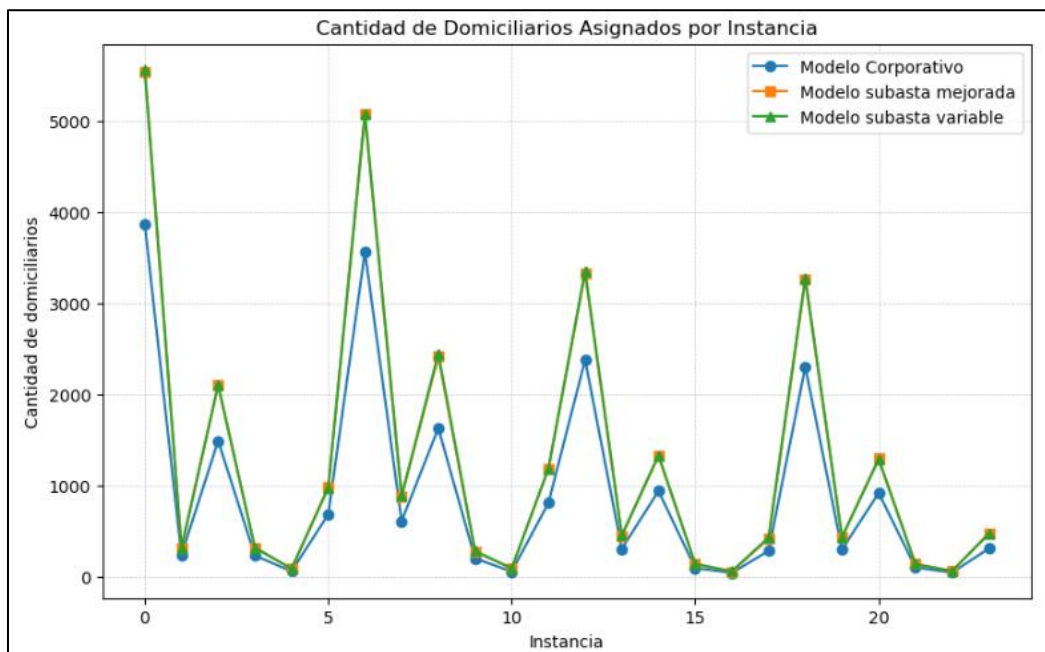


Figura 13. Domiciliarios asignados por cada modelo

La Figura 13 proporciona una comparación de la eficiencia en la asignación de domiciliarios entre los tres modelos realizados. Se observa que tanto el modelo de subasta variable como el de subasta mejorada presentan un desempeño similar, asignando una cantidad considerablemente mayor de domiciliarios en comparación con el modelo corporativo tradicional. Este incremento en la cantidad de domiciliarios asignados indica una mayor eficacia en la distribución de recursos de entrega, haciendo partícipes a más domiciliarios lo que potencialmente puede traducirse en un servicio más rápido y justo para este actor. Estos resultados sugieren que las modificaciones implementadas en los modelos de subasta están en línea con las mejoras operativas deseadas, optimizando así la capacidad de respuesta del sistema frente a la demanda de pedidos.

## 8. Análisis de Resultados

El análisis de los resultados obtenidos a través del modelo corporativo, subasta variable y subasta mejorada revela diferencias significativas en la eficiencia operativa y la gestión de pedidos dentro del sistema de entrega de domicilios.

En el modelo corporativo, se identifica una tasa de rechazo alarmantemente alta, donde más de un cuarto de los pedidos no se concretan, provocando considerables pérdidas económicas para todos los actores, siendo los domiciliarios los más afectados. Este modelo pone en evidencia las limitaciones de una estructura operativa que no atiende adecuadamente las necesidades de los actores involucrados.

Por otro lado, los modelos de subasta variable y mejorada muestran una tasa de rechazo notablemente más baja, lo cual sugiere una mayor eficiencia en la asignación y aceptación de pedidos. El modelo de subasta variable, en particular, demuestra ser el más eficaz, logrando las menores tasas de rechazo y de pérdidas económicas para las tiendas y la plataforma. Sin embargo, para los domiciliarios, los beneficios de ambos modelos de subasta son comparativamente similares.

Además, la asignación de domiciliarios es considerablemente más eficiente en los modelos propuestos con bienestar, lo que podría resultar en una mejora en los tiempos de entrega, mayores ventas para las tiendas y en la satisfacción general del cliente. Este aspecto también sugiere una distribución más equitativa del trabajo entre los domiciliarios, lo que podría tener implicaciones positivas en sus ingresos y condiciones laborales.

## **9. Conclusiones**

La investigación presentada en este documento aporta una simulación de eventos discretos que muestra una perspectiva innovadora en la gestión de plataformas digitales de entrega de pedidos a domicilio, poniendo énfasis en el bienestar equitativo de todos los actores involucrados en el proceso. A través de la aplicación de modelos de simulación de eventos discretos, se ha logrado identificar las fortalezas y debilidades de las políticas de asignación actuales y proponer alternativas que mejoran significativamente la operación del sistema.

Se generaron tres modelos: Modelo corporativo, Modelo de subasta mejorado y modelo subasta valor mínimo variable. Todos los modelos fueron probados en las 24 instancias disponibles en donde se pudo comparar el desempeño de cada una. Los resultados demuestran que la implementación de políticas de subasta variable y subasta mejorada conduce a una reducción sustancial en el porcentaje de rechazos de pedidos, comparado con el modelo corporativo. Esto indica una asignación de pedidos más eficiente y una mejor gestión de la capacidad de los domiciliarios, lo que se traduce en aumentos en las ganancias y nivel de servicios siendo más satisfactorio para todos los actores del sistema.

Es claro que las políticas centradas únicamente en la eficiencia operativa de la plataforma pueden conducir a un desequilibrio en el bienestar de los actores, especialmente los domiciliarios y las tiendas. La adaptación de modelos que consideran una distribución más justa de las ganancias y una remuneración más equitativa para los domiciliarios muestra una mejora notable en sus condiciones y refleja una consideración más humana del trabajo que realizan. La investigación destaca la importancia de la equidad económica en la distribución de ganancias generadas por las plataformas de entrega. Los modelos de subasta mejorada y variable demuestran que es posible y

beneficioso implementar políticas que aseguran una participación más justa de los beneficios económicos entre la plataforma, las tiendas y los domiciliarios.

En nuevas investigaciones se recomienda que se exploren más propuestas en donde involucren a todos los actores. Además, sería valioso investigar el impacto a largo plazo de las políticas de bienestar en la fidelidad del cliente y en la sostenibilidad económica de las tiendas asociadas. Otro estudio interesante sería cómo las tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático pueden ser utilizadas para predecir patrones de demanda y optimizar la asignación de recursos. Esto puede incluir el desarrollo de algoritmos predictivos que mejoren la precisión en la estimación de tiempos de entrega y la gestión eficiente del inventario.

## 10. Referencias

Arias, K., Paul, M., Maldonado, C., & Torres, J. (2020). Análisis del sector informal y discusiones sobre la regulación del trabajo en plataformas digitales en el Ecuador. REPOSITORIO DIGITAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45866/4/S2000398\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45866/4/S2000398_es.pdf)

Caballero, A., (2023). Simulacion-plataforma-de-pedidos. <https://github.com/AnaLucia-CP/Simulacion-plataforma-de-pedidos>

Das, S. and Ghose, D. (2019). Influence of online food delivery apps on the operations of the restaurant business, International Journal of Scientific and Technology Research, Vol. 8 No. 12, pp. 1372-1377.

Giraldo, D. S. (2022). “Simulación de una plataforma de domicilios para analizar el impacto sobre sus stakeholders”

Gonzales, D. F. (2021). Solucionando el problema de enrutamiento de pedidos de comida, teniendo en cuenta el bienestar de los domiciliarios.

Gupta, A., Yadav, R., Nair, A., Chakraborty, A., Ranu, S., & Bagchi, A. (2022). FairFoody: Bringing In Fairness in Food Delivery. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 36(11), 11900-11907. <https://doi.org/10.1609/aaai.v36i11.21447>

Marlin W. Ulmer, Barrett W. Thomas, Ann Melissa Campbell, Nicholas Woyak (2020) The Restaurant Meal Delivery Problem: Dynamic Pickup and Delivery with Deadlines and Random Ready Times. Transportation Science 55(1):75-100.

Osorio, C. A. J. (2023, 14 abril). Repartidores de Rappi Colombia: ¿Cuánto ganan al día? *RCN Radio*. <https://www.rcnradio.com>

Portafolio. (2023). En el país ya hay apps de domicilios con seguridad social: así operan. Portafolio.co. <https://www.portafolio.co/negocios/apps-de-domicilios-asi-funcionan-otras-plataformas-diferentes-a-rappi-581540>



Seghezzi, A., Winkenbach, M. and Mangiaracina, R. (2021), On-demand food delivery: a systematic literature review, *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 32 No. 4, pp. 1334-1355.

Sundararajan, A. (2014). Peer-to-peer businesses and the sharing (collaborative) economy: Overview, economic effects and regulatory issues. Written testimony for the hearing titled *The Power of Connection: Peer to Peer Businesses*, 1-7.

Ulmer, M., Thomas, B., Campbell, A., & Woyak, N. (2017). The restaurant meal delivery problem: Dynamic pick-up and delivery with deadlines and random ready times. *Transportation Science*.

Reyes, D., Erera, A., Savelsbergh, M., Sahasrabudhe, S., & O'Neil, R. (2018). The Meal Delivery Routing Problem. *Optimization Online*.