

# Simulación de Picos de Demanda de Cadenas de Suministros de Comida

## Integrantes

- Leismael Sosa Hernández
- Francisco Vicente Suárez Bellón
- Carla Sunami Pérez Varela
- Lázaro David Alba

## Descripción del problema

La **gestión eficiente de las cadenas de suministro** es un componente crucial para el éxito de cualquier empresa. Una cadena de suministro se refiere al conjunto de procesos y actividades necesarios para producir un producto o servicio y entregarlo al cliente final. Esto incluye todo, desde la adquisición de materias primas, la producción, el almacenamiento, el transporte, hasta la distribución al cliente.

En este contexto, la **simulación de picos de demanda** juega un papel vital. Los picos de demanda son períodos de tiempo en los que la demanda de un producto o servicio supera la capacidad de producción o suministro normal de una empresa. Estos picos pueden ser causados por una variedad de factores, como cambios estacionales, eventos especiales, o incluso crisis globales.

La simulación de estos picos de demanda permite a las empresas prepararse y planificar con anticipación para estos eventos. Al utilizar modelos de simulación, las empresas pueden prever cómo responderán sus cadenas de suministro a diferentes escenarios de demanda y tomar decisiones informadas sobre cómo gestionar sus recursos. Esto puede ayudar a minimizar los retrasos en la entrega, mejorar la satisfacción del cliente y, en última instancia, aumentar la rentabilidad.

En resumen, la simulación de picos de demanda en las cadenas de suministro es una herramienta valiosa para cualquier empresa que busque optimizar sus operaciones y prepararse para el futuro.

Nuestro proyecto busca explorar esta área lo mejor posible para las restricciones de tiempo que tenemos y proporcionar soluciones prácticas para las empresas que enfrentan estos desafíos.

## Caso de Uso

Antes de mencionar los objetivos específicos de este proyecto vale la pena comentar cual es el escenario en el que se espera que se utilice nuestra herramienta.

Nuestro proyecto espera que sea utilizado por 1 sola compañía en donde ésta tenga la facilidad de definir el entorno en el que se desenvuelve de forma sencilla, esto es:

- Definir cuales son las empresas que pueden estar involucradas en su cadena de suministros a la hora de manejar un pico de demanda, que no es más que los proveedores, manufactores, almacenes, distribuidores y tiendas.
- Definir el mapa en el que habitan las empresas.
- Definir un conjunto de creencias con respecto a cada empresa.
- Definir un conjunto de reglas de toma de decisiones con respecto a las creencias que tiene de cada entidad de su entorno.
- Definir la distribución que representa el tiempo que se demora en aparecer el próximo cliente en cada una de sus tiendas.
- Definir los productos que se crearán en la simulación y la lógica de que es necesario para producirlos.
- Definir la distribución de los sabores favoritos de los clientes, esto es útil para analizar como los clientes deciden un producto y no otro, pero además es útil para analizar como deciden entre productos teniendo en cuenta su gusto y la calidad de cada producto que la tienda vende.
- Definir en que momento deberían aparecer los picos de demandas (otra distribución) y a que tiendas afecta.
- Definir en que momentos aparece el suministro de cada tienda o almacén por su cadena de suministro estable y cual es el costo de cada uno.
- Definir la competencia, esto es, definir otras empresas que tienen tiendas y una lógica de comportamiento.

## Objetivos de nuestro proyecto

Los objetivos específicos de nuestro proyecto son los siguientes:

- Facilitarle a la tienda datos estadísticos sobre como se comportó en el tiempo de la simulación. Estas estadísticas se analizan en 2 momentos, mientras el comportamiento del sistema está en un estado normal y mientras está bajo un pico de demanda. Algunas de las estadísticas analizadas son las siguientes:
  - Información sobre el balance esperado.
  - Las pérdidas esperadas por suministros que no pudieron ser localizados en almacenes.
  - Las pérdidas esperadas de clientes en cada tienda por la demora en su atención.
  - La calificación esperada de cada producto por parte de los clientes.
  - La calidad esperada de cada producto en el momento que llega a cada tienda.
  - El valor esperado en las pérdidas de ventas por no tener productos disponibles a la hora de atender a un cliente.
- Facilitarle un análisis comparativo con respecto a las empresas de su competencia.
- Facilitarle a la tienda consejos con respecto a como puede mejorar su rendimiento. Algunos de estos consejos serían:
  - Explicarle como se deberían modificar sus creencias sobre empresas del entorno.
  - Como se deberían modificar sus reglas de toma de decisión.
  - Como debería cambiar sus contratos estándares de suministros, es decir, en que momentos deberían aparecer los suministros en cada tienda para tener un mejor rendimiento (más

ganancias, menos gastos y menos pérdidas de ventas).

## Descripción de nuestra implementación

Para describir nuestra implementación de esta herramienta creemos conveniente dividir la explicación en las siguientes secciones:

- Descripción del entorno:
  - Descripción del rol de cada empresa del entorno
  - Descripción del mapa donde habitan las empresas
  - Descripción sobre la modelación de los productos
  - Descripción de los consumidores, es decir, los clientes de las tiendas.
  - Descripción de nuestro entorno en términos de accesibilidad, de que tan determinista es, etc.
- Descripción de como funciona nuestro simulador
- Descripción de los agentes en términos de:
  - Arquitectura
  - Toma de decisiones
  - Envío y recepción de mensajes
- Descripción de los algoritmos de IA utilizados:
  - Para la búsqueda de rutas en el mapa de las empresas por el servicio de transportación de productos.
  - Descripción del algoritmo con el que el agente crea una planificación
  - Descripción del algoritmo para optimizar los resultados de la simulación.
- Descripción del uso de los modelos largos de lenguaje (**LLM**) para realizar un reporte de la simulación.

## Descripción del entorno

### Descripción de las empresas

Como mencionamos al inicio del documento, nuestro proyecto busca simular el comportamiento de la cadena de suministros de una empresa ante picos de demanda pero no definimos en esa sección como nosotros en nuestro simulador llamamos a esa empresa que toma las decisiones importantes, ni cuál es su rol y mucho menos describimos los roles de las empresas que forman parte de su cadena. Ahora pretendemos aclarar estos puntos.

La empresa que toma las decisiones importantes es llamada **Empresa Matriz**. Esta empresa matriz tiene un conjunto de tiendas en las que vende sus productos pero no es dueña de más nada en el entorno (podría haberse modelado pero no lo hicimos) y por ende debe pagarle al resto de las empresas del entorno por los servicios que necesite. El resto de las empresas son los *proveedores*, *manufactores*, *transportistas*, *almacenes*, *tiendas*.

Describamos entonces los roles de cada empresa en nuestra simulación:

- Empresa Matriz - Su objetivo fundamental es el de satisfacer las demandas de suministros de sus tiendas para disminuir las pérdidas de ventas por deficiencia de stock. La forma en la que cumple con este objetivo es la siguiente:
  - Realizar compras a proveedores.
  - Mandar a algún manufactor a crear cierta cantidad de unidades de un producto facilitándole a este la materia prima que necesita.
  - Pedirle a un distribuidor (transportista) que mueva productos de un punto del mapa a otro. Esta funcionalidad se usa para mover unidades de un proveedor a un manufactor, de un almacén a una tienda, etc.
- Proveedores - Su objetivo fundamental es vender productos que son creados por la naturaleza (leche, trigo, tomate, etc.).
- Manufactores - Su objetivo fundamental es vender productos que necesitan cierta elaboración, ejemplo: Pueden ofrecer crear el Pure de tomate pero este necesita tomate, azúcar, entre otros ingredientes para crearse y puede necesitar que la empresa matriz se los facilite.
- Almacenes - Su objetivo fundamental es ofrecer servicios para almacenar unidades de productos. Cada almacén tiene una capacidad máxima y ofrece un precio por sus servicios.
- Transportistas - Su único objetivo es enviar unidades de un punto a otro del mapa. El precio que pide por su servicio depende de la cantidad de unidades a transportar y de la distancia.
- Tiendas - Una tienda tiene 2 funciones:
  - Vender productos a sus clientes.
  - Pedir a su empresa matriz por más suministros de cierto producto.

## Descripción del mapa

El mapa en el que habitan las empresas de nuestra simulación es representado por un grafo simple donde los nodos son puntos cartesianos en donde puede habitar o no una empresa y las aristas representan caminos simples entre 2 puntos del mapa. La distancia en una arista siempre es mayor que la distancia real entre los puntos cartesianos.

## Modelación de los productos

En nuestra simulación todo ronda en relación a la compra, creación y venta de productos. De donde se hace necesario definir precisamente como se modela el concepto de producto en nuestra simulación.

Nuestra simulación distingue 2 tipos de productos:

- Productos bases o de materia prima: Estos son los productos que crea la naturaleza y son vendidos por los proveedores
- Productos creados por humanos (o manufactores): Estos son los productos resultantes de la mezcla de otros productos (pueden ser bases o no). Las características de estos nuevos productos son consecuencia de las características de los productos usados como ingredientes.

Describamos las características de los productos y mas adelante mencionaremos como se modela cada una de estas características:

- Sabor → representa el espectro de sabor del producto, esto es, que tan dulce, salado, amargo, ácido y picante es este.
- Propiedades nutritivas → representa que tanta grasa, proteínas y carbohidratos tiene el producto.
- Calidad inicial → La calidad que tiene el producto en el momento de su confección
- Función que calcula la calidad actual del producto → Esta función depende del tiempo y cada producto tiene una forma distinta de calcular como decrece la calidad del producto (el entorno se asegura de no permitir que la calidad del producto aumente con el tiempo)

## **Diferencia entre productos bases y los creados por manufactores**

Los productos bases y los manufacturados cumplen lo mismo que se describió anteriormente. La única diferencia es que el producto manufacturado es uno que se crea a partir de los productos dados como ingredientes y toma en cuenta sus características de sabor, propiedades nutritivas y calidad en el momento que se usaron para crear el nuevo producto.

Nosotros dejamos como algo posible en nuestra simulación el permitir que la calidad del producto creado sea mayor que la de cualquier producto usado como ingrediente. Esto lo permitimos por el hecho de que en la vida real pudiera ser posible esto debido al tipo de procesamiento que se haga de los ingredientes.

## **Modelación de la fecha de vencimiento**

En nuestra simulación la consideración de si un producto está vencido o no es dependiente de cada agente, es decir, es algo que forma parte de su percepción. Un producto puede ser considerado como vencido por las empresas como un producto que tiene calidad menor al 25% pero para un consumidor el vencimiento se podría apreciar cuando se baja del 40%.

## **Modelación del sabor de un producto**

Nosotros modelamos el sabor de un producto como una distribución de los 5 sabores básicos conocidos:

- Dulce
- Salado
- Ácido
- Amargo
- Picante

La distribución de sabores la calculamos con porcentaje, es decir, que tanto por ciento del alimento es dulce, salado, etc. Pero la representamos internamente como un vector para facilitar el calculo de la similitud de sabores, que es útil a la hora de que un cliente pueda comparar el sabor de un producto con el sabor que considera ideal, que en última instancia le es útil para saber que tanto le gusta el producto.

## **Modelación de las propiedades nutritivas**

Las propiedades nutritivas de un alimento es representada en nuestra simulación como un vector que tiene 3 componentes. Estos componentes están asociados a la cantidad de grasas, carbohidratos y

proteínas que aporta el producto.

La modelación de estas propiedades nutritivas como vectores es con el mismo objetivo que se tiene con los sabores, es decir, permitir que cada consumidor tenga unas propiedades nutritivas ideales que espera en el producto y así poder tener una ayuda a la hora de elegir un producto a consumir.

## Descripción de los consumidores

Los consumidores en nuestra simulación son los clientes que llegan a cada tienda buscando comprar alimentos. Cada cliente que llega a la tienda está modelado como un agente (más adelante se explicará este punto en detalle) que cuando es atendido decide por los productos que se quiere llevar. La forma en la que decide por un producto es en base a sus preferencias y a los reviews de los productos que son dejados por los clientes al consumir en la tienda. Las preferencias de un cliente son las siguientes:

- Sabor favorito
- Propiedades nutritivas que espera obtener de un alimento
- Calidad mínima de los alimentos que quiere consumir

## Descripción del ambiente en términos técnicos

En el libro *Reading in Agents* de Russel y Norving se sugiere clasificar los entornos en los que los agentes pueden tomar decisiones en base a los siguientes criterios:

- Accesibilidad: Un ambiente accesible es aquel en el cual el agente puede obtener información completa y actualizada sobre el estado del medio. Los ambientes más complejos (incluyendo el mundo real e Internet) son inaccesibles. Mientras más accesible sea un ambiente más fácil será construir agentes que operen en él.
- Determinismo del entorno: Un Ambiente determinista es aquel en el cual cualquier acción se puede garantizar que tiene un único efecto: no hay incertidumbre sobre el estado en que quedará el ambiente después de realizar una acción. El mundo real puede ser catalogado de no-determinista. Los ambientes deterministas no presentan un gran problema para los programadores de agentes
- Episódico vs No Episódico: En un ambiente episódico, el rendimiento de un agente depende de un número de episodios discretos, no existe ningún vínculo entre el rendimiento de un agente en escenarios diferentes. Un sistema para el ordenamiento de correos es un ejemplo de un ambiente episódico. Estos ambientes son mas singles desde el punto de vista de los programadores debido a que el agente puede decidir que acción debe realizar basado solamente en el episodio actual: el agente no tiene que razonar sobre las consecuencias que tendrá esto en el futuro
- Estático vs Dinámico: Un ambiente estático es aquel se mantiene inalterable a no ser que el agente realice una acción sobre él. Un ambiente dinámico es aquel en el que existen otros procesos operando sobre el y por consiguiente los cambios en él están fuera del control del agente. El mundo real es un ambiente altamente dinámico.
- Discreto vs Continuo: Un ambiente es discreto si existe un número fijo y finito de acciones y en el percepts. El juego de ajedrez se desarrolla sobre un ambiente discreto, mientras que manejar un taxi se realiza sobre uno continuo

De acuerdo a lo anterior nuestro ambiente se puede clasificar de la siguiente forma:

- Medianamente accesible → Los agentes solo pueden ver información de lo que ofrecen las empresas en el mapa, es decir, su menú. Pero son incapaces de ver la cantidad real de unidades de cada producto que tienen las empresas. La información referente a la cantidad de unidades en venta por una empresa, solo la conoce el agente cuando se comunica con el agente que ofrece los productos y esta información no tiene que ser la real
- No determinista → En nuestra simulación hay casos en los que se quiere enviar ciertas unidades de un producto a un almacén que tiene espacio libre para este. Pero en el momento en que llegan las unidades, es posible que el espacio libre esté ocupado por algún envío de otra empresa matriz.
- No episódico.
- Dinámico → Existen varios agentes cambiando el entorno constantemente. La llegada de los clientes no es controlada por un agente en específico. El momento en que aparecen productos en el entorno no siempre es controlado por un agente.
- Discreto.

## Descripción de nuestro simulador

Nuestra simulación de los picos de demandas de las cadenas de suministros está basada en eventos discretos, es decir, nosotros no modelamos el avance del tiempo de forma continua (segundo a segundo) sino que lo hacemos en intervalos de tiempos variables que están determinados por la ocurrencia de eventos. Cada paso de nuestra simulación está determinado por la ejecución de un evento.

Nosotros podemos describir el flujo de ejecución de nuestra simulación dividiéndola en 2 partes:

- Inicialización
- Procesamiento de la cola de eventos

### Inicialización

Al comienzo de la simulación no hay ningún evento que procesar y es por esto que se hace necesario rellenar la simulación con unos eventos iniciales. Para esto se pasa por cada empresa del entorno y se llama a un método `Start()` que cada empresa debe implementar. Este método lo que hace es agregar a la simulación eventos iniciales de la empresa (como crear el evento que dice en que momento al proveedor se le rellena el stock) y llamar al método `Start()` que contiene cada agente, que nuevamente lo que hace es crear los eventos iniciales que el agente considera necesarios para realizar su correcta planificación.

### Procesamiento de la cola de eventos

Los eventos que se deben ejecutar en nuestra simulación son almacenados en una cola de prioridad que procesa primero el evento con menor tiempo almacenado en esta y si 2 eventos tienen el mismo tiempo de procesamiento entonces se usa la propiedad llamada `priority` que se encuentra en cada evento para poder desambiguar entre que evento ejecutar primero.

La lógica que se debe realizar al procesar un evento está contenida en el método `execute(environment)` que cada evento debe sobrescribir. Este método recibe la instancia del entorno

en el que todas las entidades están contenidas y el tiempo en el que se encuentra la simulación actualmente. Es por esto que se puede ejecutar casi cualquier lógica dentro de estos eventos y se desacopla esta implementación del entorno.

## Finalización de la simulación

Nuestra simulación al inicializarse tiene definido el tiempo en el que debe parar. De donde al pedirle a la simulación añadir un evento que deba ocurrir luego del tiempo de terminación implica descartar el evento pues nunca será procesado.

## Descripción de los Agentes

Los agentes de nuestro simulador son las entidades que toman las decisiones de que se debe realizar en cada paso. Estos se dividen en 2 tipos, los que controlan las empresas y los que actúan como consumidores.

Todos los agentes de nuestra simulación son implementados usando la arquitectura **BDI**. La elección de esta arquitectura por sobre otras es por la facilidad que proporciona a la hora de separar las creencias de un agente (conocimiento del mundo que no tiene que ser cierto, de aquí el nombre creencia) de los posibles objetivos a lograr (deseos) y a la vez permite la modelación de los objetivos que está determinado a cumplir en un momento dado (por las intenciones). La separación del conocimiento y los objetivos no es la única ventaja de esta arquitectura, la otra ventaja que tiene es que no define de forma precisa como seleccionar una acción a ejecutar. Esto último permite que el agente implemente formas complejas para decidir que hacer. Nosotros explotamos esta característica de la arquitectura para permitir que algunos agentes puedan planificar que hacer y este es uno de los puntos que explicaremos a continuación.

3 temas importantes tenemos que discutir aquí:

- Como los agentes representan el conocimiento
- Como se representan objetivos en nuestro agente
- Como los agentes planifican que hacer
- Envío y recepción de mensajes

## Representación del conocimiento

Nosotros representamos el conocimiento de cada agente usando lógica de primer orden. Esta elección es debida a su sencillez de uso y a que resuelve el problema de preguntar si el agente sabe algo en específico. Esto último es útil para saber en un momento dado cuales son las acciones que el agente puede realizar, que a su vez es útil para planificar en base a un objetivo.

## Representación de los objetivos

Los objetivos que se quiere que un agente cumpla se agregan en los *desires* de su arquitectura BDI. Luego el agente puede decidir si estos deseos se transforman en objetivos reales a cumplir, es decir, si los transforma en intenciones (*intentions*).



## Planificación de los agentes.

Debido a que nuestros agentes tienen una forma de representar el conocimiento y usando este pueden saber que acciones realizar, se hace posible la implementación de una forma de planificación, es decir, se hace posible crear un plan de acciones a ejecutar para cumplir algún objetivo de sus *intentions*.

La forma en que se realiza esta planificación es la siguiente:


- Se observa el conocimiento que tiene actualmente el agente para así conocer que acciones puede realizar.
- Se explora por *búsqueda* los caminos que crea la aplicación de cada acción hasta cumplir el objetivo (si es posible hacerlo)
- Se agrega el mejor camino como un *plan* a un gestor de planes (propio de cada agente) que más adelante describiremos por que es necesario y como funciona.

Anteriormente mencionamos al gestor de planes de cada agente. Este gestor es necesario por el hecho de que las acciones no se ejecutan inmediatamente y el entorno es no determinista, es decir, al hacer una planificación se está siendo optimista con respecto a que la planificación se puede cumplir correctamente, pero a la hora de aplicarla es posible que las condiciones necesarias para cumplir una acción del plan ya no se cumplan.

Un ejemplo de esto es cuando en una planificación se tenía que enviar 100 unidades de un producto a un almacén que en el momento de desarrollar la planificación tenía espacio para estas unidades pero que en el momento del envío no las tiene y se tenía planificado más adelante enviar unidades de este almacén a una tienda. En este ejemplo se puede observar que al no cumplirse la condición de que el almacén tenga más de 100 unidades libres entonces no se puede ejecutar la acción de guardar esas unidades en el almacén, y por consiguiente el resto del plan no va a funcionar como se esperaba. Es por esto que es necesario borrar ese plan y decirle al agente que planifique nuevamente a partir del punto actual.

Entonces, como ya está explicada la necesidad de un gestor de planes es hora de explicar como funciona este gestor de planes.

Un gestor de planes contiene una lista de planes a ejecutar por el agente y cada plan se compone de una lista de acciones. Cada acción del plan define 2 tipos de condiciones. Las primeras son condiciones que se deben cumplir para ejecutar el plan y las segundas son condiciones que si se cumplen deben provocar la cancelación del plan y la necesidad de que el agente planifique nuevamente desde su estado actual para lograr el objetivo que el plan quería lograr.

 Notar que en un momento dado puede que para una acción del plan no se cumplan ninguna de las 2 condiciones mencionadas. En este caso no se hace nada.

## Envío de mensajes entre los agentes

A la hora de una empresa matriz comprarle productos a otra empresa (proveedores o manufactores) primero debe averiguar el precio de cada unidad y luego debe decidir si quiere comprar a ese precio o no. Pero luego de decidir que quiere comprar debe comunicarle su intención al agente que vende el producto. La forma en la que hacemos esto es mediante mensajes.

Los mensajes entre agentes son de 2 tipos:

- Afirmaciones - Aquí puede ir lo siguiente
  - Te hago una oferta de venta
  - Acepto una oferta de venta
  - Niego una oferta
- Preguntas - Aquí puede ir lo siguiente
  - Te pregunto por una oferta para comprar un producto

Las afirmaciones el agente las almacena en la sección de las creencias y las preguntas las almacena en la sección de los deseos.

## Descripción de algunos algoritmos de IA utilizados

### Búsqueda en el mapa

A la hora de enviar un producto entre empresas los distribuidores deben siempre escoger el camino mas corto pues de esta forma pueden ofrecer precios más bajos por sus servicios. La implementación de esta búsqueda la realizamos con el algoritmo  $A^*$  que es un algoritmo de búsqueda informado, su base es el algoritmo *best-first search* con función de evaluación:

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

donde,  $g(n)$  representa el costo del camino desde el nodo inicial (empresa que quiere enviar el producto) hasta el nodo  $n$  (que representa la empresa en la que se está actualmente) y  $h(n)$  es la heurística que representa el *costo estimado* del camino más corto desde el nodo  $n$  hasta el nodo final (empresa a la que debe llegar el producto).

La heurística del  $A^*$  definida en la función  $h(n)$  que usamos en nuestro problema, es la distancia geográfica que se tiene entre las empresas. Esta heurística es admisible pues nunca sobrestima el costo de alcanzar el objetivo, esto se debe a que nunca puede existir un camino que tenga distancia menor que la distancia geográfica (es la distancia de la línea recta que se traza en un mapa para ver que tan cerca se encuentran ciertas ubicaciones).

Nuestra elección del algoritmo de  $A^*$  por sobre otro algoritmo radica en la naturaleza del problema que tenemos que atacar que es la búsqueda del camino más corto en un multigrafo. En la literatura se tienen 2 grandes grupos de algoritmos que resuelven este problema eficientemente, estos son, los algoritmos no informados y los informados.

Los algoritmos no informados funcionan bien en problemas donde se tiene que buscar un camino en un mapa donde se está casi a ciegas, es decir, donde solamente se tiene conocimiento de a que otro punto el agente se puede mover. Este tipo de algoritmos sirve para nuestro problema pero no aprovecha todo lo que se tiene disponible, es decir, no aprovecha el conocimiento de a que distancia geográfica se encuentra el punto actual del punto destino, esta información puede ahorrar la visita a ciertos nodos y en este conjunto de algoritmos no se hace.

Los algoritmos informados por otro lado, si tienen en cuenta conocimiento del problema, no están tan ciegos como los no informados y esto les permite evitar la visita a ciertos nodos del grafo, de donde este conjunto de algoritmos es más efectivo en la búsqueda de soluciones donde se sabe algo del problema.

La forma en la que codifican el conocimiento del problema es en una heurística.

Ahora, dentro de los algoritmos informados se ha demostrado que el algoritmo mas eficiente en cuanto a visitar menos nodos y por ende encontrar la solución mas rápido es el  $A^*$  y es por esto que elegimos este algoritmo sobre los demás

## Optimización de parámetros en la simulación

Uno de los objetivos de nuestro proyecto es el de facilitarle a una empresa un conjunto de recomendaciones sobre que cambios debería realizar para obtener mejores resultados, es decir, para minimizar las pérdidas y aumentar las ganancias.

Para lograr este objetivo necesitábamos una forma eficiente de cambiar ciertos parámetros de la simulación como las creencias que tienen las compañías y las reglas de toma de decisiones pero de forma que estos nuevos parámetros permitieran una mejora de los resultados.

Nuestra decisión fue usar metaheurísticas para resolver este problema, específicamente nos decidimos por los algoritmos genéticos que tienen mucha bibliografía y han dado excelentes resultados.

Los cromosomas en nuestro optimizador representan:

- Valores nuevos a asignar en las creencias de cada empresa (aumentar o bajar la confianza en una empresa, etc.)
- Cambios en algunos valores en reglas de decisión predefinidas (si la confianza es mayor que cierto valor y la calidad promedio de los productos que vende es mayor que cierto valor entonces es alguien elegible para aceptarle ofertas de venta)
- Cambios en los tiempos en que aparece suministros a las tiendas y almacenes. Esto es útil para que una empresa conozca que tan buena es su cadena de suministro por defecto y vea que tanto se puede mejorar, es decir, que cambios se podrían hacer en sus contratos para mejorar el rendimiento (se asume que los tiempos entre suministros están dados por contratos)

La forma en que se selecciona la población a reproducirse es mediante la ruleta rusa pero se mantiene una pequeña población fija entre generaciones (que representan las mejores soluciones encontradas).

La mezcla usada a la hora de crear nuevos individuos es mediante puntos variables, por defecto es un punto que se ubica aleatoriamente en un gen y divide al cromosoma en 2 partes (antes del gen y después de este).

## Procesamiento de lenguaje

A la hora de ofrecerle información útil para el usuario del simulador, usamos un LLM que crea una serie de informes donde se muestran los datos estadísticos de la simulación y las recomendaciones de que acciones realizar para mejorar su rendimiento (como se ha descrito a lo largo del documento).

Con respecto a las estadísticas tenemos lo siguiente:

- Información sobre el balance esperado.
- Información sobre las ventas esperadas de cada producto.
- Las pérdidas esperadas por suministros que no pudieron ser localizados en almacenes.
- Las pérdidas esperadas de clientes en cada tienda por la demora en su atención.

- La calificación esperada de cada producto por parte de los clientes.
- La calidad esperada de cada producto en el momento que llega a cada tienda.
- El valor esperado en las pérdidas de ventas por no tener productos disponibles a la hora de atender a un cliente.

Con respecto a las recomendaciones tenemos:

- ¿Cómo debería cambiar la confianza con cada empresa de la simulación?
- ¿Cómo debería cambiar los parámetros pertinentes a la toma de decisiones en el momento de comprar o no productos a productores o manufactores?
- ¿Cómo debería modificar sus contratos en el futuro para obtener menos pérdidas? (recordar que los contratos son los que permiten que cada cierto tiempo una tienda tenga "mágicamente" nuevo suministro)

## Resultados de un sencillo entorno

### Estrategia Integral para Optimizar las Operaciones de FastFood

#### Balance General:

- **Ganancias Totales:** \$345,058
- **Gastos Totales:** \$298,473

#### Distribución de Gastos:

Para este análisis, se distribuyen los gastos en las siguientes categorías, considerando la información proporcionada anteriormente y su relevancia en la operación de FastFood:

- **Costos de Productos:** 60% (Aproximadamente \$179,084) - Incluye el costo de los ingredientes para pizzas y bocatas, así como los costos de empaque.
- **Costos de Transporte y Logística:** 20% (Aproximadamente \$59,695) - Abarca los gastos de transporte de productos desde proveedores y entre tiendas, así como los costos de almacenamiento.
- **Pérdidas por Sobrecostos:** 20% (Aproximadamente \$59,695) - Incluye las pérdidas por desperdicio de ingredientes, productos vencidos y la pérdida de clientes por falta de producto.

### Estrategias para Optimizar las Operaciones:

#### 1. Gestión de Proveedores y Almacenamiento:

- **Negociar mejores precios con proveedores:** Buscar proveedores que ofrezcan precios competitivos sin comprometer la calidad de los productos.
- **Optimizar la gestión de inventario:** Implementar un sistema de control de inventario eficiente para evitar la pérdida de productos por vencimiento y reducir el desperdicio de ingredientes.
- **Explorar opciones de transporte más eficientes:** Evaluar alternativas de transporte y logística para reducir costos.

## 2. Satisfacción del Cliente:

- **Mejorar la oferta de productos:** Innovar y diversificar la oferta de pizzas y bocatas para satisfacer las preferencias de los clientes.
- **Monitorear la satisfacción del cliente:** Implementar encuestas y analizar las reseñas en línea para identificar áreas de mejora.
- **Capacitar al personal:** Brindar capacitación al personal en atención al cliente y en la preparación de los productos.

## 3. Reducción de Sobrecostos:

- **Implementar programas de control de desperdicio:** Capacitar al personal en técnicas para minimizar el desperdicio de ingredientes.
- **Mejorar la previsión de la demanda:** Analizar las ventas históricas y las tendencias del mercado para optimizar el inventario y evitar la pérdida de productos por vencimiento.
- **Optimizar los procesos de transporte y almacenamiento:** Implementar medidas para reducir los costos de transporte y almacenamiento.

## 4. Recomendaciones Financieras:

- **Monitorear el flujo de caja:** Llevar un control estricto del flujo de caja para identificar posibles déficits y tomar medidas correctivas.
- **Establecer un presupuesto:** Definir un presupuesto anual que incluya los costos de operación, las inversiones y las ganancias esperadas.
- **Reinvertir las ganancias:** Destinar una parte de las ganancias a la mejora de las operaciones, la expansión del negocio y la innovación.

**Al implementar estas estrategias, FastFood podrá optimizar sus operaciones, aumentar la rentabilidad y asegurar un crecimiento sostenible a largo plazo.**