

Instituto Tecnológico y de
Estudios Superiores de Monterrey

Reto - Etapa 3

Rescheduling de una cadena de producción

Escuela de Ingeniería y Ciencias
Optimización estocástica (Gpo 301)

Equipo 5

Mateo Zepeda Pérez	A01722398
Daniel Eduardo Arana Bodart	A01741202
José David Banda Rodríguez	A01285601
Joana Itzel Barreto López	A01425283
Emilio Ramírez Rodríguez	A00573943

Docentes:

Rafael Muñoz

Fernando Elizalde Ramírez

30 de noviembre del 2024

Etapa 1

Los avances tecnológicos y globalización del siglo XXI han creado un panorama de empresas multinacionales y competitividad económica nunca antes visto. Las empresas ahora compiten contra la oferta de productos/servicios y precios de competidores a nivel mundial. Esto le brinda a los consumidores precios más atractivos y una mayor cantidad de alternativa, mientras que a los negocios les expande el alcance a nuevos mercados y más consumidores, pero también la necesidad de eficientizar sus procesos y utilización de recursos. Es ante esta necesidad de eficientizar procesos, donde los sistemas de producción buscan brindar valor.

“Los programas de producción son los que deciden la utilización eficiente de las capacidades y de las calidades de todo el sistema productivo de la empresa.” (Echeverría, 1993). Entre las decisiones fundamentales están; la planificación y control del inventario, asignación de recursos, previsión de demanda, calidad del producto. Específicamente, se deben sincronizar las operaciones, controlar los recursos (como maquinaria, personal), y coordinar los suministros necesarios para evitar interrupciones en la cadena de producción (Grupo SIM, 2018). Actualmente, estos suelen ser programas computacionales creados con base en modelos matemáticos de optimización. Estos programas deben de tomar decisiones a lo largo de la cadena de suministro y proceso de producción de la empresa hacia la que se aplica. Estas decisiones incluyen, pero no se limitan a aquellos de estrategia, calendario, materiales, control de calidad, y mejora continua (Mecalux, 2024). El sistema requiere de entradas, para tomar las decisiones adecuadas; tales como fecha de entrega para un pedido, unidades a producir, especificaciones del producto a desarrollar, disponibilidad de las máquinas, y existencia/llegada de materiales.



Cada proceso de producciones es particular al giro y necesidades del negocio, así como también las decisiones tomadas dependientes de las salidas esperadas y entradas. Esta

variabilidad en los sistemas abre las puertas a diferentes maneras de acomodar la producción físicamente (cosa que resulta en cambios al programa de producción), conocidos como layouts. Algunos layouts son el de procesos, productos, combinado, y posición fija. En procesos se busca agrupar procesos similares, en productos se maneja la cadena de suministro se trabaja linealmente de forma que las tareas se realizan secuencialmente hasta llegar al producto final, el combinado, que también se conoce como celular, es un punto medio entre el layout de producto y posición, y finalmente el fijo es aquel donde se mueven las máquinas y mano de obra hacia el producto y no del otro modo. Cada uno de estos layouts tienen beneficios y casos de útiles particulares dependiendo de la cantidad de productos diferentes que se deben de producir en un pedido, las diferencias que pueden existir entre estos, el tamaño-complejidad de los productos a desarrollar, entre otras características.

Para mayor claridad, cada layout tiene ventajas específicas que lo hacen más adecuado para ciertos tipos de producción, por ejemplo, el layout de proceso es ideal para productos variados, mientras que el layout de producto optimiza para producciones de gran volumen. En particular para el caso que se tratará en este proyecto, la industria de alimentos utiliza principalmente el layout de productos, dada la necesidad de procesos lineales y optimizados en volumen.

Del mismo modo, hay diversas formas en las que las máquinas pueden ser distribuidas para llevar a cabo los layouts, los cuales son determinados mediante la complejidad del sistema:

- Una sola Máquina:
Es el sistema más sencillo, pues se cuenta con una sola máquina o línea de producción. Este, es más adaptable para procesos con poca demanda. Por ejemplo, una empresa que está empezando y tiene poca producción puede solo usar una máquina para hacer los aderezos, y otra para envasarlos.
- Máquinas Paralelas:
En este caso se disponen de varias máquinas o líneas de producción para realizar el mismo proceso. Esto permite mayor flexibilidad y capacidad de producción, sin embargo, no son necesariamente idénticas, pues pueden variar sus tiempos de producción y habrá trabajos exclusivos de ciertas máquinas. Por ejemplo, si se tienen la máquinas A, B y C, aunque todas realizan el proceso de mezclado, pueden tener distintas velocidades. A es de mezclado rápido y para grandes volúmenes, B es más lenta e ideal para procesos lentos, y C se usa cuando A y B están ocupadas y pedidos pequeños; A podría ser asignada a pedidos de salsa, B para aderezos y C puede ser de apoyo para alguna de las demandas de A o B.
- Flow Shops Models
Se distingue porque el flujo de trabajo sigue una secuencia establecida de principio a fin, es decir, todos los productos deben pasar a través de un conjunto fijo de máquinas o estaciones en el mismo orden. Para el enfoque de la empresa, se podría tener la

preparación de ingredientes, el mezclado, la cocción, el enfriado y el envasado y etiquetado.

- Job Shop Models

En cambio al anterior, en los Job Shop Modelos los jobs del sistema de producción siguen rutas de procesamiento diferentes, es decir, cada producto puede requerir un conjunto de máquinas en un orden único y específico de acuerdo a sus necesidades. Hablando con una visión empresarial, aquí se podría lograr referir a que cada salsa y aderezo requiere diferentes máquinas de mezclado y tiempos de procesamiento: una salsa podría necesitar mezclarse y cocinarse dos veces para alcanzar su sabor, mientras que el aderezo solo pasa una vez por cada máquina.

En el ámbito de la producción, existen múltiples técnicas aplicables a la fabricación de distintos productos, también conocidas como sistemas de manufactura, en total existen 4: Make To Stock (MTS), Make To Order (MTO), Assemble To Order (ATO) & Engineering to Order (ETO), para el caso de la industria alimenticia y por el propósito del reto llevado a cabo en la materia solamente se desarrollarán los conceptos Make To Stock y Make To Order, enfocados estos dentro de la industria alimenticia. Según el equipo de Corporate Finance Institute, Make To Stock es una técnica de producción convencional en la cual los fabricantes producen sus productos a gran escala en concordancia con la demanda anticipada de los consumidores, algunas de las ventajas de esta técnica son el uso eficiente de los recursos, tales como el costo de producción por unidad, el cual al estar preparado con tiempo se puede reducir considerablemente, así como las decisiones de cuándo producir ya están tomadas dentro de la técnica; otra ventaja es el tiempo que le toma a un cliente adquirir el producto, pues al ya estar considerada su demanda este resulta inmediato; sin embargo, también posee ciertas desventajas, ya que en caso de que situaciones desapercibidas o poco probables sucedan tales como un desastre natural o una recesión, las estimaciones fallarían estrepitosamente, además, la más ligera fluctuación en la demanda ocasiona una escasez o un exceso en los productos, en ambas situaciones se incluye un costo extra. Por otro lado, Make To Order es muy diferente, pues las productoras solamente realizan el producto cuando se tiene un pedido sobre este, es decir, los productos son producidos de manera customizada acuerdo con la demanda específica de cada cliente y se encuentra sujeto a cada una de estas demandas. Esta técnica también presenta sus ventajas, tales como la reducción de los costos de productos no consumidos, además, se puede optar por una mayor variedad de productos, dado que se realizan de acuerdo con la demanda de los clientes. No obstante, también presenta ciertas desventajas, tales como ventas irregulares puesto que queda sujeta a cada cliente particular, o tiempos de entrega muy largos, ya que no se tendría el mismo tiempo de reacción comparado con el método Make To Stock, esto debido a que para que un cliente obtenga su pedido es necesario primero producirlo. Dentro de la industria de producción de alimentos emplear una técnica o la otra es muy diferente y puede tener diversos resultados dependiendo de cuál se elige; sin embargo, en una cuestión de opinión del equipo se optó por decidir que la mejor opción para una productora de alimentos varía dependiendo del

tamaño de la empresa. Para una empresa pequeña e inclusive mediana, el plan de producción debería de ser Make To Order, esto debido a que Make To Stock requiere de más inversión de capital, además de que se corre el riesgo de que los productos se deterioren y ya no sean comestibles, aumentando aún más las pérdidas de una sobreproducción. Sin embargo, para una empresa grande, es probable que convenga más emplear la técnica Make To Stock, ya que se desea que el producto esté siempre disponible, además que los pedidos de producto serían tantos que requeriría grandes gastos de planeación.

Ahora bien, un sistema de producción incluye *tareas (jobs)* y *recursos* que aseguran la realización eficiente de los trabajos necesarios. El primer término se refiere concretamente a las tareas que se deben hacer en el sistema de producción, mientras que los recursos son los elementos con los que se llevan a cabo los jobs.

De igual manera se deben tomar a consideración múltiples características (o reglas) relacionadas con un sistema de producción, pues cada una de ellas afecta de manera directa o indirecta el desempeño general del sistema y el éxito de los objetivos de producción:

- Parámetros de capacidad y recursos:
 - *Rate de producción*: Es la velocidad o tasa de producción de un producto, medida a través de las unidades producidas en un determinado rango de tiempo. Este parámetro se usa para calcular los tiempos y la capacidad de producción.
 - *Capacidad*: Limita la cantidad de producción disponible de acuerdo con la disponibilidad de materiales.
 - *Cuadrillas*: En sistemas semi-automáticos, es necesario definir la capacidad de mano de obra disponible, es decir, la capacidad de producción en función de la disponibilidad de personal.
 - *Buffer entre procesos*: Representa el almacenamiento temporal de productos entre procesos, especialmente en sistemas de producción no continuos. Este buffer es crucial cuando existen cuellos de botella entre etapas.
- Restricciones de proceso:
 - *Compatibilidad producto máquina*: Se refiere a la capacidad de la máquina de producir ciertos productos, pues en gran parte de los casos, no todas las máquinas hacen todos los productos. Dicha compatibilidad es representada tanto de manera matricial binaria como con una tasa de producción (rate). Esto influye esencialmente en la asignación de trabajos.
 - *Setup*: Este concepto trata al tiempo muerto entre un proceso y otro. Es decir, en el tiempo que se cambia el producto a otro proceso o máquina, es tiempo en el cual no se puede producir, lo que llega a afectar la eficiencia del proceso.

- *Ensamble*: Llega a considerarse una etapa dentro del proceso, pues si las piezas del producto se tienen que ensamblar, tienen que estar listas antes de iniciar esta etapa.
- Disponibilidad y Mantenimiento:
 - *No disponibilidades de recursos*: Este concepto toma en cuenta paros de máquinas, mantenimientos, o días festivos. Pueden ser catalogadas como duras o suaves, siendo las primeras las no disponibilidades imprevistas.
 - *Recirculación*: Es el flujo que hace que un producto vuelva a una máquina o proceso inicial tras una serie de pasos.
- Consideraciones logísticas:
 - *Ruta de producción*: Es la secuencia de etapas por la cual el producto fue pasando hasta llegar a su forma final.

Existen una gran cantidad de algoritmos comúnmente empleados en la programación de producción con diversos propósitos, tales como optimizar el flujo de trabajo, minimizar tiempos de espera, reducir inventarios, cumplir con fechas de entrega, entre otros procesos. Algunos de los algoritmos más comunes en la programación de producción son: la regla FIFO del nombre First In - First Out, en donde como su nombre lo dice, el primer lote de mercancía que se fábrica es el primero que pasa a la siguiente etapa. Se tienen diversas reglas similares a esta última, tales como LIFO (Last In - First Out), donde la última mercancía fabricada es la primera que pasa a la siguiente etapa. FEFO (First Expired - First Out), similar a FIFO, solo que en lugar de ser el primer lote producido, es el primer lote que se vaya a caducar el que pasa a la siguiente etapa primero. Un algoritmo empleado para la secuenciación de tareas en dos centros de trabajo es el algoritmo Johnson's Rule, en donde básicamente se busca minimizar el tiempo total de procesamiento, por ejemplo, al emplear dos máquina para realizar una serie de tareas idénticas, pero que a cada máquina le toma un tiempo diferente, de manera que minimiza el tiempo de espera al asignarle tareas diferentes a cada máquina considerando sus tiempos de trabajo. También se pueden emplear algoritmos heurísticos estocásticos tales como algoritmos genéticos, colonia de hormigas; sin embargo, el algoritmo que puede presentar mejores resultados en la programación de procesos y que es más comúnmente empleado es el algoritmo de Monte Carlo.

De acuerdo con IBM el método de Monte Carlo, también conocido como simulación de Monte Carlo, es un tipo de algoritmo computacional que emplea muestreo aleatorio repetidamente para obtener la probabilidad de que un rango de resultados ocurran. Este método fue desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial por John von Neumann y Stanislaw Ulam con el objetivo de mejorar las tomas de decisiones con incertidumbre. La simulación de Monte Carlo es empleada constantemente en diversos escenarios de la vida real más allá del empleado en la Segunda Guerra Mundial, estos escenarios son tales como inteligencia artificial, precios de acciones, pronóstico de ventas, gestión de proyectos y fijación de precios, entre otros. Emplear el método de Monte Carlo tiene diversos beneficios, tales como realizar análisis de sensibilidad o

calcular la correlación de las entradas. El método de Monte Carlo funciona a través de la predicción de un conjunto de resultados basándose en el conjunto de valores de entrada, los cuales, por medio de simulación se cambian con cada iteración para asegurarse de que en la distribución de probabilidad, todos los escenarios que puedan suceder se simulen y arrojen su respectivo resultado, de manera que así suceda lo mejor, lo peor o algún escenario intermedio, quienes realizan la simulación tengan un resultados para cada escenario y de esta manera, saber cómo operar.

Para nuestro reto estaremos trabajando con un socio formador para implementar los conceptos matemáticos, computacionales, y operacionales hacia la mejora de procesos en su empresa. De forma general, se diseñará un sistema de programación de producción para una empresa de alimentos quien tiene que llevar a cabo un proceso de producción desde los insumos hasta envasar sus productos. El sistema que nosotros diseñemos debe de abarcar por lo menos dos etapas en donde al menos dos máquinas estén presentes para cada etapa. El programa de producción propuesto debe de tomar en cuenta la mayor cantidad de aspectos posibles, como por ejemplo la limpieza de las máquinas (y el tiempo muerto resultante de esto), la transformación de un producto defectuoso a otro de distinta calidad/propósito, los tiempos de inicio y fin de cada una de las máquinas para las diferentes etapas, entre otras funcionalidades.

En el presente trabajo, ya se ha comentado la importancia de los sistemas de producción para la competitividad y sobrevivencia de una empresa fabricante en la economía globalizada de la actualidad. Para la industria particular de la que tratamos, la industria de alimentos, esta importancia de programas de producción eficientes se mantiene. Sin poder adentrarse a específicos sobre los productos específicos y márgenes exactos de los productos del socio formador, es común que en la industria alimenticia los márgenes sean pequeños, dependiendo de un gran volumen de producción para garantizar la rentabilidad del negocio. Visto desde esta perspectiva de economías de escala, es evidente que un programa de producción hecho a la medida de la empresa y sus necesidades la cual es capaz de generar un ahorro monetario y/o de tiempo, le generará grandes recompensas y ventaja competitiva, por más pequeño que sea este. Como bien se mencionó en clase, un ahorro de tan solo centavos en un proceso repetitivo, se propaga a ahorros que se convierten en cantidades masivas para una fábrica y empresa en el largo plazo. Por consecuencia, es evidente que el no tener un programa de producción óptimo, es una pérdida y un grave problema para cualquier empresa, y posiblemente más para uno en la industria alimenticia.

Al resolver este problema, la empresa podría lograr beneficios operativos clave: maximizar el uso de los recursos disponibles, reducir costos de almacenamiento, cumplir con las fechas de entrega que resulta en mejorar también la satisfacción del cliente. Al adoptar un sistema de producción optimizado también permite que la empresa pueda adaptarse rápidamente a cambios en la demanda, lo que es crucial para la competitividad en el mercado actual.

Etapa 2

El problema que abordará nuestra solución se centra en la reprogramación de los procesos productivos en respuesta a eventos inesperados, con el objetivo de ajustar el plan de producción diario cuando ocurren dichos eventos fuera de lo inicialmente planeado. Esto es especialmente relevante en la industria alimentaria, donde cualquier interrupción en la cadena de producción puede afectar significativamente los tiempos de entrega y la calidad final del producto. A lo largo de la reprogramación es importante pensar en el costo y beneficio de cada decisión, a qué stakeholders se prioriza, y bajo qué criterio. En este caso, nos enfocamos en un sistema de producción de alimentos que consta de dos procesos esenciales: semiterminado y envasado; se asume que para esta cadena de producción la etapa de cocina es una etapa genérica y como tal no es necesario simularla, esto reduce la complejidad, además que permite empezar el día directamente desde el semiterminado. En total se manejan seis máquinas donde cada etapa tiene el mismo número de máquinas, tres por etapa.

La etapa de semiterminado es clave, ya que aquí se realizan subprocesos específicos mediante máquinas en paralelo para producir diferentes productos, en este caso, diversas salsas. La distinción radica en los ingredientes diferentes, así como las diferentes presentaciones de tamaños en las que se presentan las salsas, en total se tienen 6 productos diferentes. Es en esta fase donde la flexibilidad y capacidad de respuesta a los cambios imprevistos son más críticas, ya que cualquier alteración en la disponibilidad de ingredientes o en el rendimiento de las máquinas impactará directamente en la calidad y diversidad de los productos. Es importante aclarar que cualquier máquina de esta etapa puede realizar todos los pedidos. La distribución manejada se ve en la **imagen 1**.

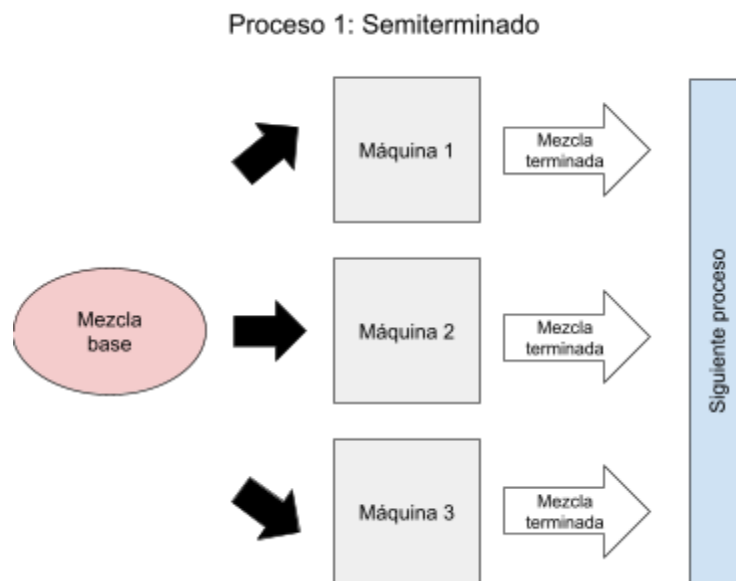


Imagen 1: Distribución de máquinas en el proceso de semiterminado.

Por otro lado, la etapa de envasado es donde se realiza el empaquetado final del producto. Los productos que superan la prueba de calidad en el proceso anterior se almacenan, sellan, y se preparan para su distribución al mercado. En este punto, cualquier retraso o problema con la maquinaria de envasado puede afectar el flujo de productos listos para la venta, por lo que una respuesta rápida es crucial. Es importante mencionar que como las presentaciones que se manejan son de 500mL y 1L, las máquinas 4 y 5 no pueden realizar todos los productos, esto debido a que la máquina 4 solamente envasa en botellas de 500mL y la máquina 5 solo envasa en botellas de 1L; la máquina 6 puede envasar ambos tamaños, pero con la penalización de un rate más alto. En la **imagen 2** se refleja el manejo de las máquinas.

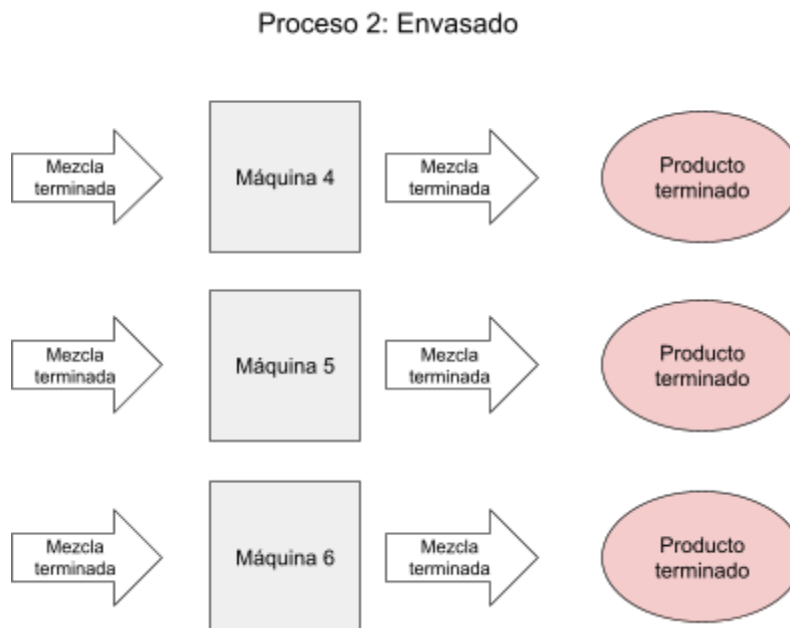


Imagen 2: Distribución de máquinas en el proceso de envasado.

La solución que proponemos se enfoca en una estrategia dinámica y adaptable que permita reajustar rápidamente las operaciones para optimizar el rendimiento del sistema, garantizando la continuidad y eficiencia del proceso productivo en su totalidad. El sistema de producción a considerar es mostrado en la **imagen 3**.

Sistema de producción

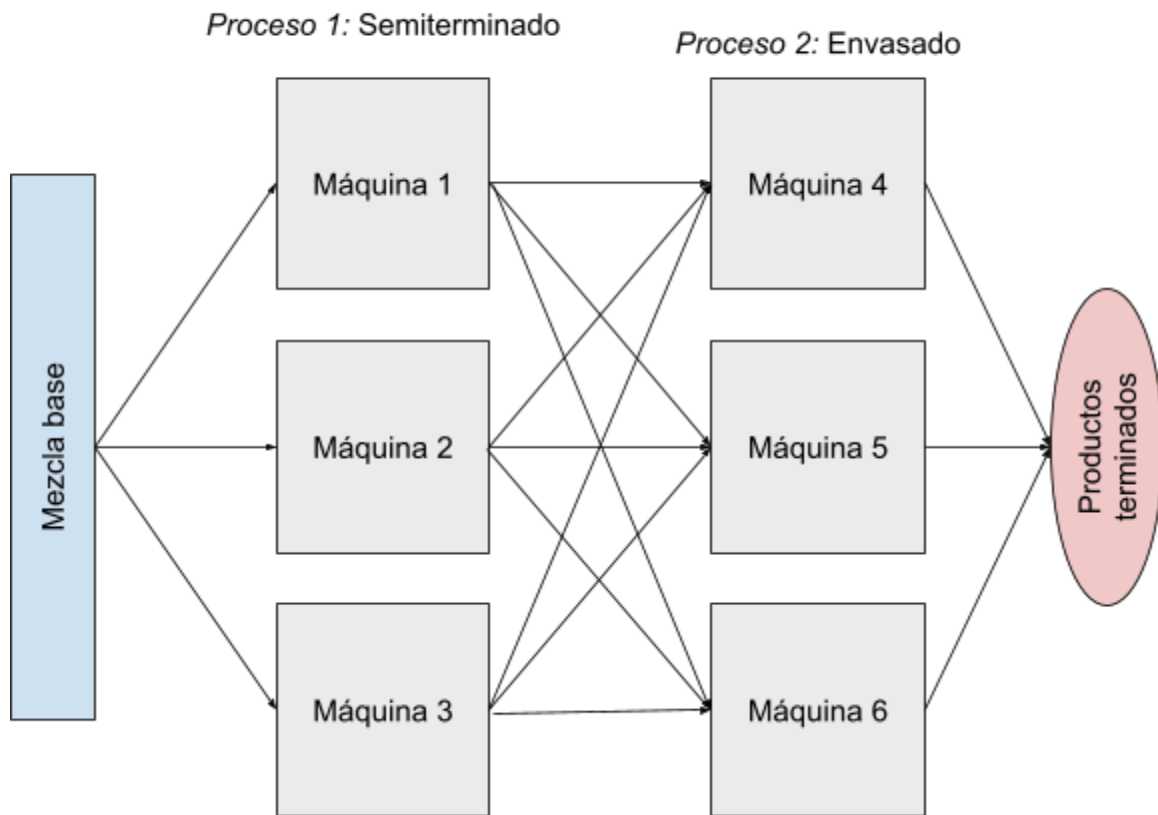


Imagen 3: Distribución de máquinas del sistema de producción.

Los casos de reprogramación planteados por el Dr. Muñoz abordan distintos escenarios que pueden ocurrir en un sistema de producción y requieren respuestas rápidas y adaptativas para mantener la eficiencia operativa. A continuación, se describen con mayor detalle los tres casos específicos que buscaremos abarcar con nuestra propuesta de solución:

- **Caso 1:** Modificación del plan de producción ante un aumento de la demanda.
Este caso analiza cómo se debe ajustar el plan de producción cuando surge un pedido adicional que no estaba previsto en la planificación inicial. La empresa debe reorganizar los tiempos de producción para hacer frente a este nuevo requerimiento, evaluando la capacidad disponible y la flexibilidad de los procesos. En caso de que la producción no pueda satisfacer completamente la nueva demanda dentro del plazo solicitado por el cliente, se debe determinar cuál cliente podría recibir menos producto o si es posible ajustar las entregas sin comprometer la satisfacción del cliente. Este análisis busca optimizar la reasignación de recursos y minimizar retrasos en los tiempos de finalización de la producción.

- **Caso 2:** Modificación del plan de producción ante la cancelación de un pedido.

En este caso se examina cómo la cancelación de un pedido afecta la producción y qué decisiones se deben tomar para aprovechar el espacio generado en ambas etapas, una consideración a tener es que se toma el caso como una cancelación antes de dar inicio a la producción, pero con el plan del día ya programado, por lo que se pueden asignar pedidos que originalmente no se pudieron programar, pero los pedidos ya programados no deberían verse afectados. Además, este caso también contempla cómo la cancelación afecta la planificación del día siguiente, ya que puede haber un exceso de producción que deberá ser gestionado para evitar desperdicios y mantener la eficiencia operativa. Esto sería un añadido para un proyecto futuro, pues en este proyecto el enfoque se encuentra en la programación de un solo día, siendo el resultado el plan de qué procesos se llevan a cabo en qué momento del día, cuáles pedidos se pudieron completar y cuáles pedidos tuvieron que ser rechazados para ese día.

- **Caso 3:** Impacto en la producción por una falla total en una máquina.

Este escenario contempla una falla total de una máquina, lo que implica que la misma no puede ser reparada y debe ser reemplazada completamente. Esta situación genera un impacto muy fuerte en la producción, ya que la interrupción del proceso será más prolongada y se requerirá una inversión adicional en una nueva máquina.

Particularmente, el caso se planteó de forma que una máquina que presentó una falla no pueda volverse a emplear en el resto del día. Este caso estudia cómo reorganizar los tiempos y las fases de producción para minimizar las pérdidas, es decir, en base a los procesos que se “liberaron” al perder la máquina, qué procesos se pueden adaptar y poner en los espacios vacíos dejados por las demás máquinas.

Para definir las estructuras de información de entrada y salida, se utilizó una hoja de cálculo en Google Sheets. En esta hoja se detalla de manera exhaustiva cada uno de los atributos relacionados con el proceso de producción, ofreciendo una descripción clara y precisa de cada etapa involucrada. Además, se especifica el tipo de datos que maneja cada tabla. También se incluye un desglose del **scheduling** que se abordará, proporcionando una guía visual sobre la programación de cada fase del proceso productivo, así como los tiempos estimados para su ejecución. Esta hoja de cálculo actúa como un recurso central para la planificación y seguimiento de la producción, facilitando la consulta y modificación de la información conforme se necesiten ajustes en el plan. La hoja de cálculo está disponible a través del siguiente enlace:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1MDG5DYYdDB4l1Aluculqn1WGmm2oPyi43RHQsk9LGhw/edit?usp=sharing>

Este apartado es muy importante, ya que en las tablas se detalla toda la información necesaria para que el sistema pueda operar adecuadamente y tenga acceso a todas sus funcionalidades. Nota importante: los datos que se muestran en las diferentes tablas son genéricos, es decir, el apartado donde se implementen las tablas tendrán otros valores en muchos

de los registros y las tablas podrían presentar cambios menores como diferentes nombres en los registros o en la manera de presentar la información.

La primera tabla es un apartado general que funciona como una guía sencilla para entender todas las demás tablas. Esta tabla es importante porque ayuda a asimilar mejor la situación y fragmentar el problema en diversas partes, donde cada una de ellas tiene necesidades particulares.

La segunda tabla en la hoja de cálculo es similar a la primera, debido a que también funciona como una guía, pero esta vez de las variables involucradas en cada tabla, esto tiene el mismo propósito de hacer más digerible la problemática. Como distintivo, esta tabla también incluye el tipo de dato que maneja cada variable, esto también es útil, más que nada para la parte de la programación de la solución, pues con el tipo de dato en mente se puede ir pensando en maneras de emplear ese dato para la solución.

La tercera tabla de la hoja de cálculo es la primera tabla que es propiamente de la problemática a resolver: esta contiene información de las máquinas que se tienen para la producción, entre la cual se encuentran datos como su identificador, su nombre y la etapa a la que pertenecen. La importancia de esta tabla radica en que presenta la distribución de las máquinas en cada etapa, para así, conocer la disponibilidad de uso que tienen.

La cuarta tabla de la hoja de cálculo contiene información de los productos que se hacen en la cadena de producción. La información de la tabla se divide en el producto a fabricar y su identificador, los subproductos que necesitan para fabricarse, su etiqueta y el tamaño de presentación del producto. Asimismo, se colocan dos columnas más que contienen la dificultad de realización de cada producto y su respectivo precio en el mercado. Estas últimas columnas representan gran peso a la hora de asignarle un valor al pedido en el modelo matemático, mientras que la primera información presentada es importante para la unicidad que tiene cada producto.

La quinta tabla de la hoja de cálculo contiene información sobre las recetas de los diferentes productos, en donde se divide la información en un identificador de la fórmula y su nombre; las entradas que necesita esta fórmula, que en este caso son los subproductos y la cantidad necesaria de cada uno de ellos; y la salida esperada representada en producto y cantidad. Esta tabla es similar a la anterior, solo que se le agrega el apartado donde se especifica la cantidad exacta de materia prima que se emplea para cada producto. Esto sería útil para un proyecto basado en la programación del problema considerando una etapa de cocina.

La sexta tabla de la hoja de cálculo contiene información de las tasas de producción, en donde se tiene información sobre qué máquina lleva a cabo qué producto. Se tiene el identificador de producto para conectar diferentes tablas, la cantidad de producción por secuencia que puede producir cierta máquina y el tiempo que le toma terminar un proceso, tomando en cuenta el tiempo de preparación y de limpieza. Esta tabla es útil, pues es de lo principal que se necesitará tomar en cuenta para la reprogramación de la producción. Además, esta tabla es muy importante porque establece la relación entre máquinas y productos, es decir, en base a esta tabla se determina qué máquina puede realizar qué tarea.

La séptima tabla es una ejemplificación de clientes potenciales de la empresa, es decir, clientes que son posibles a realizar algún pedido. En ella se establece un ID único para cada cliente, su nivel como comprador para la empresa y el tiempo en días que lleva siendo cliente. Estos dos son determinantes para el valor que obtiene un pedido, pues a mayor nivel y mayor tiempo como cliente, se le otorga más importancia a su compra.

La octava tabla es una conexión de múltiples tablas, ya que se trata de la base de datos de pedidos. En ella se contiene un identificador para el pedido; el ID del cliente y del producto que genera la relación a dichas tablas; y la demanda deseada por el cliente, la cual debe de estar dentro de un rango mínimo de 40 y no superar los 400 productos, esto, para menor complejidad del modelo. Como última columna, se encuentra un valor estimado que se interpreta como la importancia del pedido, entre mayor es el valor, más antes se iniciará con él; el cálculo de dicho valor es explicado en el modelo matemático más adelante.

La última tabla es la que se toma en cuenta para el proyecto, pues se muestra la secuencia de procesos de un producto. Se determina cada una de las secuencias del pedido con un identificador, y para relacionarla con las tablas ya descritas, se toma como referencia el ID de pedido, de máquina y de producto. También se agrega una descripción del proceso que realiza la secuencia, así como su hora de inicio y fin. Esta tabla es la tabla que se buscará modificar cuando se tenga que hacer la reprogramación de la producción, el objetivo es terminar la mayor cantidad de secuencias dentro del tiempo establecido (una jornada laboral). La secuencia descrita en la tabla no es final, simplemente funciona como ejemplo visual para comprender mejor el problema.

Por último, se van a proponer diferentes funcionalidades para resolver el problema de rescheduling. Para ello es necesario tener en cuenta una visión omnipresente de todo el panorama y del proceso de producción. Con esto en mente se pueden definir las funcionalidades de la solución en diferentes etapas:

- **Reprogramación adaptativa:**

El sistema contará con la funcionalidad de reprogramación adaptativa, diseñada para ajustar el plan de producción de manera automática y eficiente en función de diversos escenarios, cambios o imprevistos. Esto implica que, cuando se presente cualquier alteración en la producción, por ejemplo, un incremento en la demanda, la cancelación de un pedido, o una falla en alguna máquina, el sistema tendrá la capacidad de detectar estas modificaciones y reaccionar para mantener la eficiencia y cumplir, lo mejor posible, con los objetivos de producción. Otro aspecto a tomar en cuenta para esta funcionalidad es cómo ajustar el flujo de producción, esto incluye la identificación de los procesos que deben ser modificados, adelantados, pospuestos, reemplazados o eliminados para optimizar el rendimiento y minimizar el impacto de los imprevistos.

- **Simulación de escenarios**

Finalmente, el sistema incluirá una funcionalidad de simulación de escenarios que permitirá prever y analizar una amplia variedad de situaciones que podrían afectar el flujo

de producción. Esta herramienta permitirá a los usuarios modelar y probar distintos escenarios potenciales, como fallas de una o más máquinas, cambios inesperados en la demanda, pedidos excepcionalmente grandes. La simulación de escenarios servirá para realizar un análisis "*qué pasaría si*", permitiendo anticipar cómo respondería la cadena de producción ante diversas eventualidades. Esta capacidad predictiva permitirá que la toma de decisiones sea más informada y precisa, basándose en datos simulados que reflejan una amplia gama de posibilidades.

Ante el problema a resolver asignado del rescheduling, y a lo largo del proceso de producción el equipo se queda con dos conceptos claves discutidos con el socio formador. "Todos los sistemas se deben describir en indicadores contrapuestos" y "todo mundo sabe que tienen problemas de producción pero no saben cómo describir problemas". Es evidente que todo sistema de producción tiene acontecimientos fuera de lo inicialmente planeado que los fuerza a la reprogramación y que se debe de tomar una decisión para solucionar el problema. Sin embargo, es nuestro trabajo y el objetivo de las empresas exitosas, entender los problemas particulares de reprogramación de su negocio y los criterios de decisión que les permitirá solucionar problemas de manera óptima.

Etapas 3

Modelo matemático

Para definir el orden en el que se realizarán los pedidos se decidió emplear un modelo matemático que le otorga un valor numérico decimal a cada pedido, de manera que se pueden ordenar los pedidos en base a este valor e irlos asignando en este orden, esto garantiza que aquellos pedidos que sean más importantes para el socio formador se busquen programar primero de forma que se garantice su cumplimiento. El modelo matemático planteado en su versión más simple es el siguiente:

$$V_p = \beta_1 \Gamma + \beta_2 Y$$

Donde:

V_p : valor total del pedido p.

β_i , $i \in \{1, 2\}$: Coeficientes de peso ajustable para Γ y Y .

Γ : Función de importancia estratégica y comercial del cliente.

Y : Función de importancia y rentabilidad del producto ordenado.

La función Γ se define de la siguiente manera:

$$\Gamma = \alpha_1 N_c + \alpha_2 T_c$$

Donde:

α_i , $i \in \{1, 2\}$: Coeficientes de peso ajustable para N_c y T_c .

N_c : Nivel del cliente.

T_c : Tiempo del cliente.

La función Y se define de la siguiente manera:

$$Y = \lambda_1 Q + \lambda_2 C_p + \lambda_3 (1 - |D|)$$

Donde:

λ_i , $i \in \{1, 2, 3\}$: Coeficientes de peso ajustable para Q , C_p y D .

Q : Cantidad de botellas de producto ordenadas.

C_p : Precio de venta por pieza del producto.

D : Dificultad para producir el producto.

La función Γ se centra en los clientes y el valor agregado que cada cliente tiene, mientras que la función Y se centra en el pedido que se ordenó sin importar quién lo haya pedido. La forma completa del modelo matemático se muestra a continuación:

$$V_p = \beta_1 (\alpha_1 N_c + \alpha_2 T_c) + \beta_2 [\lambda_1 Q + \lambda_2 C_p + \lambda_3 (1 - |D|)]$$

Es importante mencionar que todas las variables, exceptuando los coeficientes de peso ajustable se normalizan dependiendo de los datos que se obtienen para evitar que se genere un sesgo hacia una sola variable, por ejemplo, el rango de la variable Q es $[40,400]$, mientras que el rango de N_c es $[1,3]$, por lo que si no se normalizan las variables, Q tendría un peso mucho mayor en el modelo. La idea de los coeficientes de peso ajustables es que el socio formador pueda prender y apagar variables a voluntad o darle más peso a alguna variable en específico, por ejemplo, si no les interesa el producto que van a realizar, sino más bien buscan satisfacer a los clientes más importantes primero se le puede asignar un valor de 0 a β_2 y la función queda en términos de los clientes. Otro ejemplo es que si se tiene un cliente muy importante y se le quiere dar prioridad a su pedido, pero este es nuevo, entonces el valor de α_2 se puede disminuir o eliminar completamente y α_1 puede incrementar su valor, de esta manera, ser un cliente nuevo no tiene relevancia.

Implementacion

Para llevar a cabo la reprogramación, se desarrolló una interfaz en el lenguaje de programación Python, diseñada para ser intuitiva y adaptable a las necesidades específicas del usuario. Esta herramienta permite al usuario determinar los valores de los coeficientes del modelo matemático, otorgándole la flexibilidad de priorizar ciertos aspectos o variables según sus objetivos. Por ejemplo, puede ajustar el modelo para enfocarse en indicadores clave que considere críticos para su análisis o toma de decisiones, ya sea enfocarse en el cliente, o en el producto a producir y cada uno de sus divisiones.

Además, el usuario tiene la posibilidad de establecer valores esperados para los casos que desea estudiar, utilizando distribuciones de Poisson. Por ejemplo, se puede definir una media de cinco altas de pedidos al día junto una media de tres bajas y una media de una descomposición de máquinas. Estos valores permiten simular escenarios realistas y explorar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones operativas, las cuales el usuario puede modificar de acuerdo con su situación particular.

Una vez configurados los coeficientes y valores esperados, el usuario debe determinar el número de simulaciones que desea realizar. Este paso es fundamental para probar diversos casos y evaluar cómo el modelo se comporta en un rango amplio de situaciones. Las simulaciones generan resultados que pueden ser comparados entre sí para identificar patrones, tendencias o posibles puntos críticos en el sistema.

Por último, el programa requiere como entrada un archivo que contenga la programación inicial del día, el cual servirá como la base para realizar los ajustes necesarios en cada simulación. Este archivo actúa como un punto de partida que se modificará dinámicamente según los parámetros establecidos por el usuario. Al finalizar el proceso, la herramienta permite obtener una nueva programación ajustada, diseñada para responder a los criterios y valores de los casos de estudio definidos previamente.

Para realizar una simulación, el programa detecta el número de pedidos originales y procede a aplicar la reprogramación utilizando las medias de Poisson seleccionadas para los casos de estudio. El orden en el que estos casos son aplicados es completamente aleatorio, ya que sigue una distribución uniforme para seleccionarlos. Esto significa que cualquiera de los casos de estudio puede ocurrir en cualquier secuencia durante una simulación. Una vez que se determina el orden, se inicia el proceso de reprogramación. Cabe señalar que es posible que se produzca una combinación de casos en un mismo día. Por ejemplo, puede haber simultáneamente altas y bajas de pedidos junto con la descomposición de una máquina. Aunque este tipo de combinaciones es poco frecuente, la realización de múltiples simulaciones permite capturar incluso los escenarios menos probables, brindando un análisis más completo.

En el caso de un aumento en los pedidos, el algoritmo prioriza la programación de este nuevo pedido de forma que se garantiza que este se incluya en la programación final. Para lograrlo, primero intenta asignarlo a un espacio de tiempo vacío, es decir, un periodo en el que no haya producción programada. Durante esta etapa, el programa evalúa el tiempo necesario para completar el pedido tanto en la fase de semiterminado como en la fase de envasado. Si no es posible acomodar ambos tiempos dentro de la programación original, el algoritmo recurre a eliminar pedidos existentes. Para decidir cuáles eliminar, utiliza el valor asignado a cada pedido por el modelo matemático: los pedidos con menor valor, considerados menos importantes, son eliminados hasta que se pueda incluir el nuevo pedido en la programación.

En el caso de una baja de pedidos, el procedimiento es más simple. Cuando se registra la cancelación de un pedido, éste se elimina de la programación inicial, liberando un espacio en la producción. A continuación, el algoritmo verifica si algún pedido que no logró ser incluido en la

programación inicial puede ser acomodado en el espacio disponible. Si es posible, dicho pedido es agregado a la producción. Este proceso resulta particularmente útil en escenarios donde hay pedidos grandes o que requieren mucho tiempo, y se mantiene una lista de espera considerablemente extensa.

El último caso corresponde a la descomposición de una máquina. Aunque esta situación tiene una probabilidad baja, el programa considera que cualquier máquina, tanto en la etapa de semiterminado como en la de envasado, puede averiarse en algún momento del día. Cuando esto ocurre, todos los pedidos asignados a la máquina afectada son trasladados a una lista de espera. Posteriormente, el algoritmo intenta redistribuir estos pedidos a otras máquinas disponibles, buscando espacios vacíos sin modificar la programación original de dichas máquinas, es decir, solamente se intentará agregar estos pedidos en los espacios vacíos, no se eliminarán pedidos para intentar introducir los afectados.

Una vez que se han cumplido todas las reprogramaciones definidas por el usuario, el código genera como salida un archivo en formato Excel. Este archivo contiene, en hojas separadas, la programación final correspondiente a cada simulación realizada, lo que permite al usuario analizar los resultados de manera detallada y organizada. Además, se incluye un diccionario en otra hoja del mismo archivo, donde se detalla la definición de los pedidos programados y no programados para cada simulación. Con esto, se espera que el usuario disponga de un resumen integral que facilite la evaluación de los resultados obtenidos y la identificación de posibles áreas de mejora en los procesos de programación.

Resultados de los escenarios

Para verificar el correcto funcionamiento del código desarrollado en este proyecto, se llevó a cabo una serie de pruebas utilizando una programación inicial compuesta por 20 pedidos. Esta programación inicial, incluida en los anexos al final del documento, funciona como base para realizar las simulaciones. Además, todos los coeficientes modificables del modelo matemático fueron configurados con un valor inicial de uno, garantizando condiciones homogéneas y controladas para evaluar el desempeño del algoritmo.

En total, se ejecutaron 10 simulaciones. Para las altas de pedidos, se utilizó una distribución de Poisson con una media de dos altas por día; para las bajas, se estableció una media de cuatro bajas por día; y, en el caso de las descomposiciones de máquinas, se configuró una media de una descomposición por día. Estos parámetros permitieron replicar situaciones realistas y variadas, evaluando así la capacidad del código para adaptarse a diferentes condiciones y proporcionar resultados consistentes y útiles.

A continuación se muestran los resultados más destacables de las simulaciones junto con una descripción de sus diferencias. No se muestran todas las simulaciones, sino más bien, las necesarias para demostrar que el código funciona correctamente.

	A	B	C	D	E																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	Pedido	Tienda	Producto	Demanda	Tamaño	M1	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8

Imagen 4: Resultados de la simulación 1

En los resultados de la imagen 4 se puede observar cómo es que se determina la producción sin casi mayor cambio a la producción original, la diferencia radica en que se agregó un pedido P21 que logró producirse al final de la jornada. Por los demás casos, no hubo bajas ni descomposición de máquinas.

	A	B	C	D	E		08:00	08:10	08:20	08:30	08:40	08:50	09:00	09:10	09:20	09:30	09:40	09:50	10:00	10:10	10:20	10:30	10:40	10:50	11:00	11:10	11:20	11:30	11:40	11:50
1	Pedido	Tienda	Producto	Demanda	Tamaño	M1	P21	P21	P21	P21	P9	P9	P9	P9	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P23	P23	P23	P23	P22	P22		
2	P1	UrbanMarket	S2	80	1000ml	M2	P14	P14	P14	P14	P18	P18	P18	P18	P8	P8	P8	P8				P22	P22	P22	P22	P22	P22	P22	P22	
3	P2	FreshMart	S5	40	500ml	M3	P2	P2	P2	P2	P2	P5	P5	P5	P5	P5	P6	P6	P6	P6	P6	P11	P11	P11	P11	P12	P12	P12	P12	
4	P3	DailyChoice	S6	80	1000ml	E1					P14	P14			P18	P18	P5	P5							P11	P11	P22	P22	P22	P22
5	P4	BudgetBazaar	S2	80	1000ml	E2					P21	P21	P21		P9	P9	P9			P8	P8	P8	P6	P6	P6		P23	P23	P23	
6	P5	GrocerTown	S6	40	1000ml	E3						P2	P2	P2	P2					P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P11	P11	
7	P6	DailyChoice	S2	40	1000ml																									
8	P7	BudgetBazaar	S1	120	500ml		12:00	12:10	12:20	12:30	12:40	12:50	13:00	13:10	13:20	13:30	13:40	13:50	14:00	14:10	14:20	14:30	14:40	14:50	15:00	15:10	15:20	15:30	15:40	15:50
9	P8	MarketPlace	S6	40	1000ml	M1																								
10	P9	EasyGrocer	S2	40	1000ml	M2																								
11	P10	DailyChoice	S5	40	500ml	M3																								
12	P11	GrocerTown	S5	80	500ml	E1	P12	P16	P16	P16	P16	P16	P19	P19	P19	P19	P19													
13	P12	MegaFresh	S4	80	1000ml	E2							P16	P16					P19	P19										
14	P13	ValueStop	S3	120	500ml	E3																								
15	P14	EasyGrocer	S3	40	500ml																									
16	P15	FreshNest	S2	120	1000ml																									
17	P16	NatureNest	S6	40	1000ml																									
18	P17	MarketPlace	S3	120	500ml																									
19	P18	QuickShop	S5	40	500ml																									
20	P19	QuickCart	S3	40	500ml																									
21	P20	FarmPick	S3	40	500ml																									
22	P21	NatureNest	S2	40	1000ml																									
23	P22	SaveMore	S1	120	500ml																									
24	P23	TopMart	S4	40	1000ml																									

Imagen 5: Resultados de la simulación 2

En los resultados de la imagen 5 se observa como está vez sí hubo bajas, y un gran número de ellas, pues los pedidos P1, P4, P7, P10, P13, P15 y P17 no se encuentran en la programación. También se puede observar que en este caso se agregaron tres pedidos nuevos y todos ellos se encuentran en la programación final. Además, se muestra que debido al alto número de bajas de pedidos la programación termina antes de las 8 horas totales.

	A	B	C	D	E		08:00	08:10	08:20	08:30	08:40	08:50	09:00	09:10	09:20	09:30	09:40	09:50	10:00	10:10	10:20	10:30	10:40	10:50	11:00	11:10	11:20	11:30	11:40	11:50
1	Pedido	Tienda	Producto	Demanda	Tamaño	M1	P12	P12	P12	P12	P12	P12	P12	P12																
2	P1	UrbanMarket	S2	80	1000ml	M2	P11	P11	P11	P11	P19	P19	P19	P19	P8	P8	P8	P8	P9	P9	P9	P9	P9	P9	P9	P9	P14	P14	P14	P14
3	P2	FreshMart	S5	40	500ml	M3	P2	P2	P2	P2	P2	P21	P21	P21	P21	P21	P6	P6	P6	P6	P6	P16	P16	P16	P16	P16	P5	P5	P5	P5
4	P3	DailyChoice	S6	80	1000ml	E1					P11	P11			P19	P19	P21	P21												
5	P4	BudgetBazaar	S2	80	1000ml	E2					P12	P12	P12		P12	P12	P12		P8	P8	P8	P6	P6	P6				P16	P16	P16
6	P5	GrocerTown	S6	40	1000ml	E3						P2	P2	P2	P2				P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8				
7	P6	DailyChoice	S2	40	1000ml																									
8	P7	BudgetBazaar	S1	120	500ml		12:00	12:10	12:20	12:30	12:40	12:50	13:00	13:10	13:20	13:30	13:40	13:50	14:00	14:10	14:20	14:30	14:40	14:50	15:00	15:10	15:20	15:30	15:40	15:50
9	P8	MarketPlace	S6	40	1000ml	M1																								
10	P9	EasyGrocer	S2	40	1000ml	M2	P14	P14	P14	P14	P18	P18	P18	P18																
11	P10	DailyChoice	S5	40	500ml	M3	P5	P3	P3	P3	P3	P3																		
12	P11	GrocerTown	S5	80	500ml	E1																								
13	P12	MegaFresh	S4	80	1000ml	E2	P14	P14	P14		P14	P14	P14		P18	P18	P18													
14	P13	ValueStop	S3	120	500ml	E3		P5	P5	P5	P5		P3	P3	P3	P3														
15	P14	EasyGrocer	S3	40	500ml																									
16	P15	FreshNest	S2	120	1000ml																									
17	P16	NatureNest	S6	40	1000ml																									
18	P17	MarketPlace	S3	120	500ml																									
19	P18	QuickShop	S5	40	500ml																									
20	P19	QuickCart	S3	40	500ml																									
21	P20	FarmPick	S3	40	500ml																									
22	P21	EcoStore	S1	40	500ml																									

Imágen 6: Resultados de la simulación 3

En este último caso se puede observar cómo la máquina 1 a partir de las 9:20 a.m. presentó una falla, lo que hizo que no pudiera hacer más pedidos afectando a toda la producción. Por otro lado, se puede observar que el pedido 21 es una alta y fue correctamente añadido a la producción.

Con esto queda demostrada la capacidad de nuestro algoritmo de partir de una programación inicial del día y en base a diferentes imprevistos pueda adecuarse para cumplir lo mejor posible con la producción diaria.

Referencias

CFI. (n.d.-a). *Make to order (MTO)*. Corporate Finance Institute.

<https://corporatefinanceinstitute.com/resources/management/make-to-order-mto/>

CFI. (n.d.-b). *Make To Stock (MTS)*. Corporate Finance Institute.

<https://corporatefinanceinstitute.com/resources/management/make-to-stock-mts/>

Echeverría García Santiago, Teoría Económica de la Empresa, México, D. F., 1993, Pág.

363-364. <https://www.mecalux.com.mx/blog/plan-de-produccion>

Grupo SIM. (2018). Programa de producción: Qué es y funcionalidades. Grupo SIM.

Recuperado de [Programa de producción: Qué es y funcionalidades - Grupo SIM](#)

IBM. (n.d.). *¿Qué es la simulación Monte Carlo?* | IBM. Wwww.ibm.com.

<https://www.ibm.com/mx-es/topics/monte-carlo-simulation>

Johnson's Rule in Sequencing Problems. (2022, June 19). GeeksforGeeks.

<https://www.geeksforgeeks.org/johnsons-rule-in-sequencing-problems/>

POLYPAL. (2020, May 20). FIFO o LIFO:Cuál se adapta mejor a la gestión de carga de tu almacén | Polypal.

<https://www.polypal.com/blog/fifo-o-lifo-cual-es-metodo-que-mejor-se-adapta-a-la-gestion-de-carga-de-tu-almacen/>

Anexos

Todos los documentos elaborados y obtenidos en este proyecto se encuentran en un repositorio de GitHub, en donde se incluye el código de Python, la simulación de la reprogramación mostrada en los resultados, el documento excel con el que se inicializa la producción y una presentación donde se resume el proyecto.

Repositorio: https://github.com/emiliorzz/Opt_Estocastica.git