**Fernando Guerrero, Javier Gil Rodríguez, Joaquín Meneses, Mònica Riera, Pedro Alvez**

Gestión integral de stocks en la industria-distribución

Entrega parcial 3

## Resumen ejecutivo

1. Una introducción del proyecto donde se incluya la definición de la empresa (en caso de ser un proyecto con empresa), el reto planteado y la explicación o descripción de los objetivos.
2. Una explicación de la metodología, pasos y fuentes de obtención de los datos.
3. Una breve referencia al marco conceptual.
4. Conclusiones principales del proyecto.

Contenidos

[Gestión integral de stocks en la industria-distribución 1](#_Toc187776484)

[Entrega parcial 3 1](#_Toc187776485)

[Resumen ejecutivo 2](#_Toc187776486)

[Introducción 4](#_Toc187776487)

[Definición del proyecto y análisis de la viabilidad 6](#_Toc187776488)

[Descripción detallada de la empresa 6](#_Toc187776489)

[Análisis interno y externo 7](#_Toc187776490)

[Explicación detallada del proyecto 12](#_Toc187776491)

[Objetivos generales y específicos del proyecto 13](#_Toc187776492)

[Planificación 14](#_Toc187776493)

[Estimación de los recursos económicos 14](#_Toc187776494)

[Estimación de los recursos materiales 15](#_Toc187776495)

[Estimación de los recursos humanos 15](#_Toc187776496)

[Estimación de los recursos Tiempo 17](#_Toc187776497)

[Cronograma del proyecto 17](#_Toc187776498)

[Definición del alcance del proyecto 18](#_Toc187776499)

[Desarrollo del proyecto 19](#_Toc187776500)

[Análisis de datos y evaluación de alternativas 19](#_Toc187776501)

[Descripción de los datos 21](#_Toc187776502)

[Elección de los datos 22](#_Toc187776503)

[Evaluación y estudio de alternativas 24](#_Toc187776504)

[Definición de la solución adoptada 25](#_Toc187776505)

[Explicación del modelo desarrollado 29](#_Toc187776506)

[Conclusiones 31](#_Toc187776507)

[Bibliografía 32](#_Toc187776508)

[Anexos 33](#_Toc187776509)

## Introducción

1. El presente Trabajo Fin de Master (en adelante TFM) enclavado en el ***Master en Inteligencia Artificial para la transformación de los negocios***, impartido por ***Inesdi Business Techschool***, tiene como objeto implementar un sistema de control y gestión de stock basado en herramientas de Inteligencia Artificial aplicados a una industria y centros de distribución reales, cumpliendo con los objetivos implícitos en la denominación del master, fomentar el uso de la IA para la transformación de los negocios, en éste caso ***Mondat Baker S.L.***

#### Breve introducción de la empresa

* 1. Mondat Baker S.L. es una empresa agroalimentaria ubicada en Monda, Málaga, especializada en la producción de pan y bollería congelados. Con instalaciones de 10.000 m², su capacidad de producción alcanza los 4.000 kg/h de pan y 2.000 kg/h de bollería, empleando directamente a 200 personas y generando trabajo indirecto para un número similar. Su catálogo incluye desde panes blancos y típicos andaluces hasta productos gourmet, ecológicos y "easy" (descongelar y servir), además de una amplia gama de bollería. Comercializa tanto con marca propia como a través de co-packing, distribuyendo a grandes cadenas como Mercadona y DIA, así como a pequeños comercios y cadenas hoteleras.
  2. La empresa destaca por su enfoque en la cercanía y satisfacción del cliente, aunque esto a veces afecta la eficiencia operativa. Actualmente, busca optimizar su planificación de producción, que depende de un ERP y herramientas personalizadas, enfrentándose a desafíos como pedidos imprevistos, averías y ajustes de inventario. En un sector competitivo, con líderes como Europastry y Monbake, Mondat ha logrado consolidarse como la 13ª en facturación en España y la 1ª en Andalucía. Pese a las adversidades del COVID-19, ha recuperado niveles de producción pre-pandemia y aumentado su facturación en un 66% gracias al crecimiento del sector y la inflación.

#### Definición del problema planteado

* 1. La empresa destaca por su enfoque en la cercanía y satisfacción del cliente, aunque esto a veces afecta la eficiencia operativa. Actualmente, busca optimizar su planificación de producción, que depende de un ERP y herramientas personalizadas, enfrentándose a desafíos como pedidos imprevistos, averías y ajustes de inventario. En un sector competitivo, con líderes como Europastry y Monbake, Mondat ha logrado consolidarse como la 13ª en facturación en España y la 1ª en Andalucía. Pese a las adversidades del COVID-19, ha recuperado niveles de producción pre-pandemia y aumentado su facturación en un 66% gracias al crecimiento del sector y la inflación. Estos factores dan mayor relevancia al desarrollo de soluciones de automatización y mejora en la eficiencia de la toma de decisiones para mantenerse competitivos.
  2. El proyecto busca desarrollar una herramienta de gestión y control de stocks que optimice la planificación diaria de producción en Mondat Baker S.L., teniendo en cuenta variables como averías, disponibilidad de stocks, personal, órdenes en marcha, y priorizaciones comerciales. Este sistema se centrará en los productos fabricados en la empresa, abordando la complejidad de gestionar diferentes familias de stocks y estableciendo modelos predictivos basados en datos como históricos de ventas y capacidades de producción. La solución será transversal y extrapolable a otras industrias o centros de distribución, mejorando la coordinación y reduciendo las ineficiencias en la gestión.

#### Objetivo del proyecto según el reto planteado

* 1. El objetivo principal es proporcionar una herramienta predictiva (PLANNER) que permita replanificar en tiempo real y validar propuestas basadas en indicadores clave como costos de almacenamiento, roturas de stock y optimización de recursos humanos. La implementación incluirá fases como análisis de datos, identificación de ineficiencias, desarrollo de modelos analíticos y generación de replanificaciones automáticas. Con esta herramienta, se busca minimizar costos, anticipar roturas de stock y mejorar la eficiencia global del proceso logístico y productivo.

#### Fases en las que va a constar el proyecto

* 1. El proyecto consta de 4 fases principales:
  2. 1. Definición del objetivo general y contextualización: contexto del objetivo general, análisis interno y externo de la empresa, definición del ámbito de aplicación de la solución, estimación de los recursos implicados y el planning a seguir en el desarrollo del trabajo.
  3. 2. Selección y análisis de datos y potenciales soluciones: definición y elección de los datos, análisis de los datos y estudio de posibles soluciones, definición del modelo adoptado y comparación con las alternativas.
  4. 3. Desarrollo de la solución y testeo: desarrollo y adaptación del modelo, validación y testeo, resultados de las comparativas
  5. 4. Iteraciones y mejoras

#### Resumen del resultado final obtenido

## Definición del proyecto y análisis de la viabilidad

### Mondat Baker - Apps on Google PlayDescripción detallada de la empresa

***Mondat Baker S.L.*** es una empresa de la industria agroalimentaria, dedicada a la producción de una amplia gama de pan y bollería congelados. Ubicada en la provincia de Málaga, municipio de Monda, la empresa cuenta con 10.000 metros cuadrados, donde es capaz de producir 4.000 kg pan/hora y 2.000kg bollería/hora[[1]](#footnote-2). Todo ello en una zona sin apenas industria donde da empleo a unas 200 personas de manera directa y al menos otro tanto de manera indirecta.

#### Líneas de negocio

Dispone de un variado catálogo de productos: panes blancos (baguetes, vienas…), típicos andaluces (bollos sevillanos, catetos…), productos gourmet, ecológicos o pan easy (descongelar y listo). En el sector de bollería y pastelería, produce napolitanas, croissants, danesas, hojaldres, ensaimadas, repostería (tulipas), e igualmente, bollería easy para descongelar. Los mismos pueden ser elaborados internamente y comercializados con la marca propia o empacados y comercializados con marcas de la competencia (llamado co-packing[[2]](#footnote-3)).

Sus productos se venden a las principales cadenas de supermercados y grandes superficies, pero también a pequeñas panaderías y restaurantes de la provincia de Málaga. Además, suministra a cadenas de hoteles, cafeterías y caterings.

#### Posicionamiento y competidores

En su sector, se trata de la 13ª empresa en nivel de facturación en España, y la 1ª en la región de Andalucía. En la competencia, se destacan empresas a nivel regional como Horno La Parra y a nivel nacional Monbake, Grupo Panamar, Atrian Bakers y el gigante Europastry.

En la siguiente sección se realiza un análisis interno y externo más detallado de la empresa.

### Análisis interno y externo

#### Análisis interno

Procesos y operativa relacionados con la funcionalidad a desarrollar.

Para empezar, se detalla en la Figura 1 el flujo del proceso de la cadena de suministro de la empresa ***Mondat Baker S.L.*** para la fabricación y distribución de producto alimentario. Hemos señalado en naranja el punto de la cadena en la que se encuentra el proceso de planificación de la producción, objeto de mejora del presente proyecto.

A diagram of a product

Description automatically generated

* + - 1. Figura 1: Proceso de cadena de suministro

Como se ha descrito se trata de una industria agroalimentaria. Centrándonos en el control de stocks hay tres principales líneas operativas:

* Elaboración: Se transforman “ingredientes” (materia prima) para conseguir un producto final.
* Comercialización propia: Se comercializa-distribuye dicho producto final.
* Comercialización de terceros: Se comercializan-distribuyen otros productos de proveedores externos (co-packing).

Estos procesos se relacionan directamente con el control de stock de materias primas, productos finales propios y de terceros respectivamente. El producto final es ultracongelado y conservado a -22ºC, para su posterior distribución y procesado final si corresponde en destino final-cliente.

***Mondat Baker S.L.*** destaca como empresa gracias a su clara apuesta por la satisfacción del cliente (cadenas de distribución, cadenas hoteleras, caterings, o pequeños clientes de canal “horeca[[3]](#footnote-4)”). Se encara el servicio de una manera muy cercana y a pesar de ser una industria de gran envergadura el trato es directo y familiar. Esta vocación directa de cercanía y servicio es a la vez “debilidad” ya que en muchas ocasiones significa penalizar en mermas de producto, eficiencia productiva, ..., (pero claramente es la filosofía de la dirección y son las directrices a seguir).

La gestión actual del stock la realiza un ‘planificador’, que utiliza un ERP especializado en la industria agroalimentaria (Baab de Cimkey Business Software Solutions[[4]](#footnote-5)) junto con herramientas desarrolladas a medida por personal interno de la empresa (Power BI, Excel, ...). Actualmente se está trabajando en la migración del ERP a uno nuevo debido a ineficiencias-obsolescencia en determinadas áreas operativas de la empresa, pero esto no afecta al desarrollo pues en esencia el acceso será a base de datos para posterior tratamiento. De hecho, la idea prevista es implantar el desarrollo previsto en el nuevo ERP.

En la Figura 2, a continuación, se muestra el flujo de proceso de los datos de stock, representándose en verde los datos provenientes del/destinadas al ERP u otras herramientas de gestión de datos de distintos departamentos (fábrica, almacén, compras, etc.); y en azul el proceso que se pretende automatizar y que actualmente se realiza por el planificador.

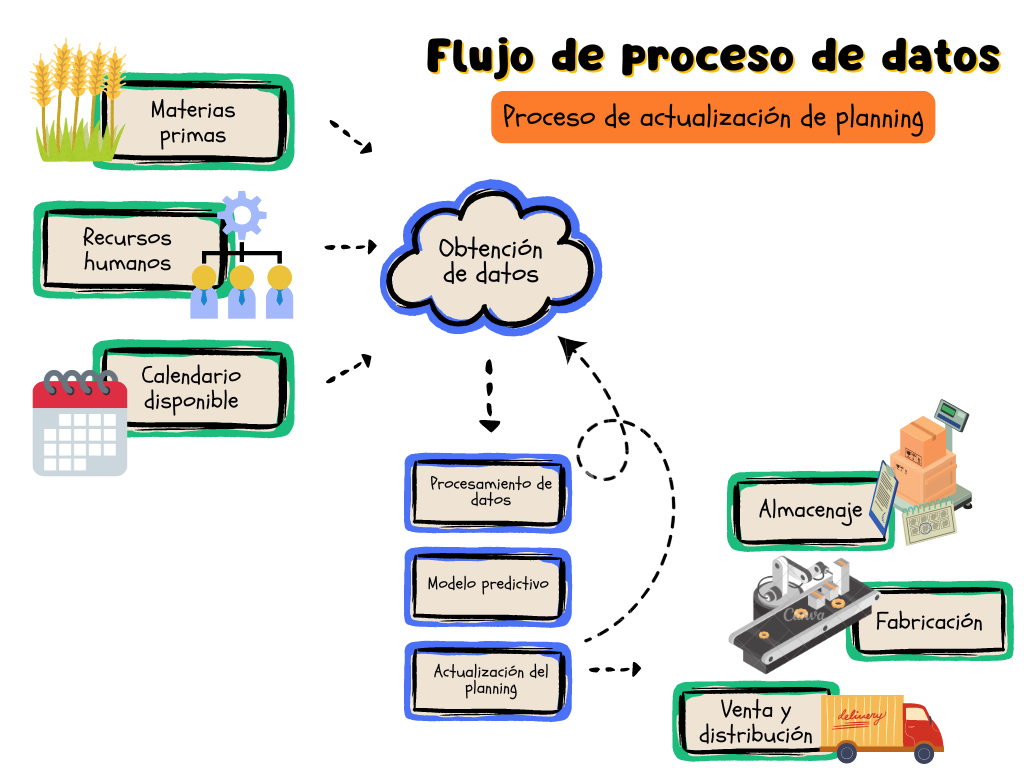


Figura 2: Flujo de proceso de datos

Debido a que la cantidad de datos que debemos tener en cuenta (algunos son recurrentes, pero otros son imprevistos/variables) y a que la actualización del plan de fabricación se basa actualmente en el know-how del responsable de planificación, este formato de trabajo torna en algo muy complejo de manejar en cuanto a recursos invertidos:

* **Horas invertidas** por el responsable de planificar
* **Continuos cambios** (averías, faltantes materias primas, decisiones comerciales de prioridad...).

Con el fin de dar una visión general de la problemática de la planificación podemos indicar:

* **Variables “externas”** que afectan: Pedidos nuevos fuera de lo “normal” (cantidades x% superior al histórico ventas), averías en líneas de producción (fabricación estimada vs fabricación real), bloqueos de stocks por incidencias, reajustes de stocks (pérdidas, roturas o inventarios).
* **Variables relevantes:** Para la gestión del desarrollo nos centraremos en unos inputs relevantes marcados claramente por el know-how de la problemática, como pueden ser:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| * Código | * Ventas 15 días | * Familia de compatibilidad |
| * Nombre | * Ventas 30 días | * Horas disponibles producción |
| * Stock disponible | * Ventas 60 días | * Capacidad de producción |
|  | * Ventas año anterior –15 días |  |
|  | * Ventas año anterior + 15 días |  |

**CONSECUENCIAS:**

* Ineficiencia productiva y económica de la empresa,
* Bienestar del personal laboral de industria (supresión, cambio o de horarios) y
* No satisfacción óptima de clientes afectados.

Se busca mejorar en gran medida todos estos factores, teniendo una visión de proyecto extrapolable a cualquier otro centro productivo y/o de distribución, ya que analizaremos productos, tiempos, ventas, ..., elementos comunes.

#### Análisis externo

Los proveedores se dividen en dos grandes bloques:

* **Materia prima**:
* **Proveedores de materia prima**: englobando tanto ingredientes para el desarrollo de la fabricación del producto como material auxiliar (embalajes, etiquetado, ...). Proveedores de ámbito nacional al 99%, y con variedad de categorías, esto es, desde empresas punteras en su ámbito a nivel nacional (ejemplo Harinera La Meta, Vilafranquina, ...), como proveedores de productos de proximidad y muy específicos. Todos con su factor tiempo de servicio y cantidad mínima y máxima a pedir.
  + **Producto comercializado**: Para conseguir un catálogo más amplio y con ello mejor servicio a los clientes es vital asociarse y llegar a acuerdos comerciales con la competencia, ya sea por necesidad de satisfacer una demanda mayor a la capacidad productiva disponible, necesidad de productos no adaptables a la maquinaria disponible o la necesidad de liberar la saturación alguna línea de producción.

Los clientes y los acuerdos con ellos son el aspecto externo que “marcan” el camino de la empresa. Se trabaja con diferentes categorías de clientes:

* **Grandes cadenas de alimentación: Mercadona, DIA, LIDL, ALDI.**
  + Fabricantes competidores: Europastry, Monbake. En este caso, los competidores también pueden ser clientes dado que en esta industria son habituales las alianzas comerciales para cubrir necesidades productivas. Se detallan las casuísticas más abajo en este mismo apartado.
  + Grupos de distribución y servicios: Menorquina, González y Vera, Disviera, Aramark, Serunión, Sodexo, Abades.
  + Cadenas hoteleras: El Fuerte, Hoteles Costa.
  + Canal horeca: centenares de clientes finales, como pueden ser restaurantes, cafeterías, panaderías y comercios minoristas.
* **Competencia**
* **A nivel regional:** Horno La Parra
  + **A nivel nacional:**

Monbake

Grupo Panamar

Atrian Bakers

El gigante Europastry (referente a nivel incluso internacional)

Se trata de un sector altamente competitivo y con una lucha continua, donde cada vez los grandes absorben a los pequeños e incluso medianos. Por tanto, como otros tantos nos encontramos en un sector donde las alianzas comerciales, aun siendo competidores se convierten en tema capital, debido entre otras razones a:

* Cada fabricante no puede cubrir todas las expectativas de catálogo de producto que sus propios clientes requieren.
* Cada fabricante tiene un ámbito geográfico de impacto directo.
* Intereses futuros de compraventa de activos entre empresas.

Desde el año 2000 hasta 2019 ha sido un sector en continuo crecimiento, tras la llegada del COVID-19, y posterior inflación de los productos la tendencia se quedó estancada incluso decreciendo levemente. Según datos de Asemac[[5]](#footnote-6), que nuclea a los principales fabricantes de pan y bollería en España - dentro de ellos Mondat-, tanto la producción como la facturación decayeron 15% y 16% respectivamente entre 2018 y 2020, principalmente por causa del COVID.

Desde 2020 hasta 2023, la producción total se ha recuperado a niveles pre-covid con un crecimiento de 18% pero los niveles de facturación se han elevado 66% durante el mismo período, mostrando los efectos de la inflación. Estas diferencias en comportamiento de la producción y facturación se pueden observar en la Figura 3. respecto ala producción total de pan y bollería en 2023 de casi 1 millón de toneladas.

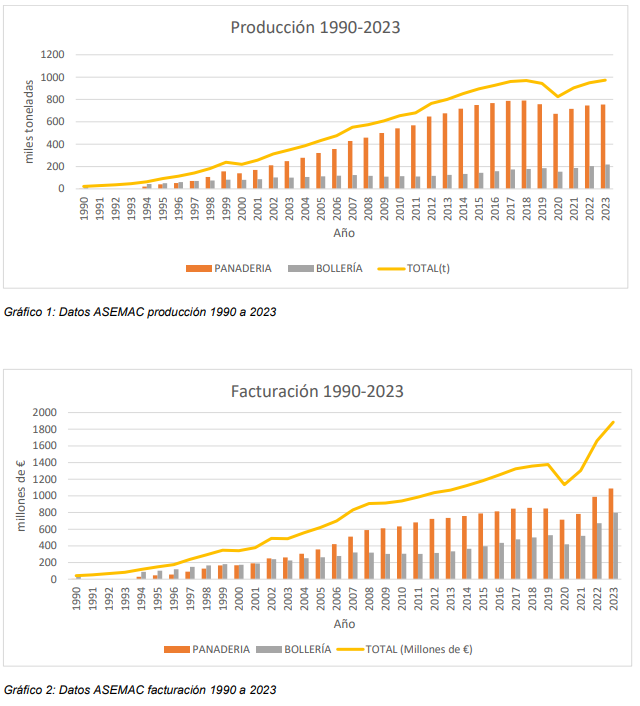


Figura 3: Gráficos de producción y facturación Asemac[[6]](#endnote-2)

Como último apunte, indicar que los requerimientos del sector en este tipo de industria hacen que haya una búsqueda de la mejora continua y aseguramiento de la calidad y seguridad alimentaria a través de certificaciones externas, como se muestra en la Figura 4.



Figura 4: Certificaciones de Mondat Baker S.L.

### Explicación detallada del proyecto

Como se ha comentado en las secciones anteriores, la operativa de la fabricación, así como factores externos a la empresa, hacen que se requiera de una actualización de la planificación diaria, para la cual se deben tener en cuenta muchos factores y variables:

* Averías durante la noche o alteración de la producción prevista por otros imprevistos;
* Disponibilidad de stocks;
* Personal disponible;
* Órdenes de fabricación en marcha y planificadas;
* Fechas de entrega;
* Priorizaciones extraordinarias por causas comerciales; etc.

Esto provoca que la labor del planificador requiera de cierto tiempo de identificación de cuáles son esas variables que afectan, a día de hoy, coordinarse y comunicarse con todos los departamentos que puedan incidir en la planificación, revisar la planificación actual e incorporar los cambios pertinentes en función de los inputs recibidos asegurándose, a su vez, la disposición del suficiente stock de materia prima para llevarla a cabo.

Por lo tanto, **el presente desarrollo busca implementar un sistema de control y gestión de los stocks** de un surtido de centenares de referencias en base alos stocks, históricos de ventas, pedidos pendientes, plazo de servicio, compatibilidad entre los productos de fabricación y plazos de producción en la propia industria.

Dada la complejidad de las diferentes familias de stocks presentes en la industria: materias primas, producto fabricado y producto comercializado (co-packer), en el desarrollo de este proyecto nos centramos en el producto final fabricado en ***Mondat Baker S.L.*** Cada uno tiene unas variables de control muy específicas y no relacionadas en alto grado.

Es un desarrollo altamente transversal y extrapolable a cualquier tipo de industria o centro de distribución, como pueden ser los grandes del sector retail o grandes cadenas de distribución.

Los sistemas de gestión actuales son muy completos, pero esto sería llegar un paso más adelante para los profesionales de gestión, control de stocks, distribución y la logística.

### Objetivos generales y específicos del proyecto

El objetivo principal del proyecto es desarrollar una herramienta que permita a los profesionales de gestión, control de stocks, distribución y logística disponer de una “ayuda” altamente competente para el desempeño de sus funciones.

Para ello claramente habrá que tener siempre en mente los siguientes objetivos específicos:

1. **Asegurar la fiabilidad y cobertura de los datos.** Es la base del desarrollo, por ello habrá un análisis previo sobre stocks, capacidades de producción, históricos de ventas, pedidos en curso sin cubrir entre otros.
2. **Identificar los puntos del proceso de gestión de stock donde existe algún tipo de ineficiencia** de control y definir alternativas analíticas para eliminar/mitigar esta carencia.
3. **Con el dataset origen crear modelos de entrenamiento que conformen las soluciones analíticas definidas**, para conseguir valores con la mayor precisión posible (con el know-how adquirido en esta labor por los componentes del equipo, se podrá contrastar y dar reglas al modelo para conseguir crecer). El sistema deberá proponer cuando una referencia debe ser aprovisionada, propuesta de fabricación atendiendo a capacidad (horas productivas). Anticipación, predicción, comunicación previsión de roturas de stock.

En resumen, el desarrollo se implementará a través de una herramienta PLANNER, esto es desarrollo de un modelo predictivo que a través de los datos relevantes (introducidas en el análisis interno) ejecute en un determinado momento una replanificación propuesta para su validación. La implementación final sería en Excel o cuadro de mandos PBI.

Se han definido los siguientes indicadores para cuantificar la obtención de los objetivos:

* **Costo unitario de almacenamiento**: Costo unitario de almacenamiento = Costo total de almacenamiento / Capacidad nominal X Índice de ocupación
* **Faltantes y/o roturas de stock**: implica penalizaciones y/o pérdida total de clientes, perjudicando los ingresos de la empresa.
* **Minimizar costos de producción**: Optimizar los cambios de referencia en las líneas de producción para reducir tiempos de línea parada.
* **Costos de recursos humanos**: al minimizar cambios de horario, se reducen horas extras y horas dedicadas por el departamento de planificación.

## Planificación

* 1. El proyecto se implementará en 9 meses (del 01/07/2024 al 31/03/2025) y se compone de 4 fases:
  2. 1. Definición del objetivo general y contextualización: contexto del objetivo general, análisis interno y externo de la empresa, definición del ámbito de aplicación de la solución, estimación de los recursos implicados y el planning a seguir en el desarrollo del trabajo.
  3. 2. Selección y análisis de datos y potenciales soluciones: definición y elección de los datos, análisis de los datos y estudio de posibles soluciones, definición del modelo adoptado y comparación con las alternativas.
  4. 3. Desarrollo de la solución y testeo: desarrollo y adaptación del modelo, validación y testeo, resultados de las comparativas
  5. 4. Iteraciones y mejoras

Teniendo estas fases en cuenta, se han estimado los diferentes recursos que se necesitarán.

### Estimación de los recursos económicos

Para el desarrollo de la IA de gestión de stock, se estiman los siguientes recursos económicos durante un periodo de 9 meses:

* 1. **Costes de personal**:

Se estima el coste de 5 personas trabajando durante 9 meses a tiempo parcial. Estimación de 60€ por hora y 5 horas por semana.

En la sección de recursos humanos se detallan las actividades previstas para estas 5 personas durante el período de 9 meses de implementación del proyecto.

Además, también se requiere la involucración de una persona más por parte de Mondat Baker, S.L., para proporcionar los datos e informes necesarios de los sistemas de gestión de la empresa. Por ello, se estiman un total de 72 horas de un responsable de IT de Mondat Baker para la proporción de información en tablas de Excel (datos seleccionados y filtrados según se defina por el proyecto). Coste hora estimado igual que el equipo de ejecución del proyecto.

En total se estiman unas 900 horas (180 por miembro del equipo), equivalente a 54.000,00€, más 4.320,00€ de la persona de soporte, resultando en 58.320,00€ en coste de personal.

Cabe tener en cuenta que el equipo de implementación no recibirá remuneración ya que el presente proyecto se desarrolla en el marco del TFM del máster. Por esta razón, pese a que el coste económico de personal de este proyecto se estima en 58.320,00€, el importe real estimado para Mondat Barker es de 11.820,00€ (7.500,00€ del coste del máster y 4.320,00€ del personal de IT).

* 1. **Infraestructura**:

Servidores y servicios en la nube: se utilizará Sharepoint provisto por Inesdi para el desarrollo en la nube.

### Estimación de los recursos materiales

Para el desarrollo de la IA de gestión de stock, se estiman los siguientes recursos materiales:

**Herramientas de integración:**

* **Componentes**: Configuración de herramientas de ingesta para integrar datos de sistemas ERP o sistemas de gestión de datos (PowerBI, Excel, etc.).
* **Software**:
* Herramientas de programación: (Conda, Jupyter Notebook) y software de gestión de proyectos (Sharepoint).
* Paquete ofimático: Microsoft Office
* Bibliotecas y frameworks: Dependencias necesarias para el desarrollo de la IA.
* ERP interno de Mondat Baker
* **Plataformas colaborativas**:
* Plataforma Inesdi
* Google Meets
* **Infraestructura**:
* Almacenamiento: El uso de bases de datos relacionales para estructurar la información.

### Estimación de los recursos humanos

El equipo para el desarrollo del sistema estará compuesto por 5 miembros, distribuidos de la siguiente manera:

* Gestor de proyecto: 1 (responsable de la coordinación y seguimiento del proyecto).
  + **Javier Gil.** Líder del proyecto y empleado de Mondat Baker, S.L., concretamente el responsable de Planificación y Aprovisionamiento de Materias Primas. Javier es la persona encargada de comunicar los avances del proyecto a la empresa y solicitar los datos e información requerida por el equipo. Además, la solución desarrollada aplica directamente a su puesto de trabajo, por lo que es la persona idónea dentro de la empresa para validar los resultados obtenidos por el modelo.
* Desarrolladores: 2 (gestión de datos y programación).
  + **Pedro Alvez.** Coordinador del proyecto y miembro del equipo de desarrollo técnico. Pedro se encarga de coordinar las reuniones de seguimiento y del desarrollo técnico de la solución, especialmente en la fase de identificación de variables clave y de desarrollo de la función objetivo y restricciones.
  + **Joaquín Meneses.** Desarrollador técnico del proyecto, especializado en el desarrollo del modelo y adaptación a las necesidades concretas de la solución incorporando el código necesario para obtener los resultados deseados.
* Consultores: 2 (análisis de la empresa y contexto y definición de objetivos).
  + **Fernando Guerrero.** Miembro del equipo administrativo encargado de realizar el análisis externo y entender el contexto de la industria y el proyecto para definir adecuadamente los objetivos generales y específicos del mismo.
  + **Mònica Riera.** Miembro del equipo administrativo, encargada de entender las necesidades de la empresa transmitidas por Javier y la solución propuesta por el equipo técnico (Pedro y Joaquín) y plasmarlo en la documentación, así como de realizar el análisis interno de Mondat Baker, S.L. para entender bien sus procesos y sus flujos de información.

**Colaboración interna**: también será necesaria la participación de una persona del personal de la empresa para el apoyo en la obtención de datos para realizar el análisis de datos, desarrollo del modelo y testeo.

La ocupación de estas 5 personas según las fases del proyecto se prevé de la siguiente manera:

**Fase 1:** Definición del objetivo general y contextualización

**Objetivo**: Analizar el sistema de stocks actual, identificar puntos débiles y definir los requerimientos para el proyecto. Reuniones previas con la empresa:

* 2 personas del equipo (coordinador y analista de datos): 3 reuniones de 5 horas con la empresa (Recopilación de datos, conclusiones iniciales y aclaraciones, definición del desarrollo inicial).
* 3 sesiones de 5 horas del equipo completo TFM. Conocimiento y definición conjunta del desarrollo. Y su planificación.

**Fase 2**: Selección y análisis de datos y potenciales soluciones

**Objetivo**: Análisis e implementación de las herramientas a emplear, definición del dataset y obtención del mismo. 6 sesiones de 6 horas.

**Objetivo**: Preparación de variables derivadas, selección de variables predictoras, planificación del modelo de IA. 6 sesiones de 6 horas.

**Fase 3: Desarrollo de la solución y testeo**

**Objetivo**: Prueba de diferentes modelos con el fin de conseguir los mejores resultados. 8 sesiones de 6 horas.

**Fase 4:** Iteraciones y mejoras

**Objetivo:** Monitorear la eficiencia del nuevo sistema de gestión y ajustar procesos según los resultados. 6 sesiones de 5 horas.

### Estimación de los recursos Tiempo

Como se menciona en apartados anteriores, la estimación de tiempo equivale a una dedicación de 900 horas durante el tiempo total del proyecto de 9 meses, divididos en las siguientes fases:

* Fase 1: 15/07/2024 - 03/09/2024

Análisis inicial. Definición del problema, identificación de las variables clave y análisis de patrones.

* Fase 2: 04/09/2024 - 29/10/2024

Infraestructura tecnológica. Configuración de la infraestructura tecnológica para soportar el sistema de predicción, almacenamiento de datos y herramientas de procesamiento (Big Data, herramientas como Hadoop o Spark).

Recolección de datos, análisis exploratorio y preparación de datasets para el modelo. Preparación de variables derivadas, selección de variables predictoras y planificación del modelo de IA, división de los datasets en subconjuntos de entrenamiento y prueba.

* Fase 3: 30/10/2024 - 11/02/2025

Desarrollo de modelos, pruebas con diferentes algoritmos y ajuste de parámetros.

* Fase 4: 12/02/2025 - 18/03/2025

Evaluación de modelos, ajustes finales y entrega del sistema.

Cabe destacar en este apartado que, debido a una demora en la asignación de tutor para el proyecto, el inicio del mismo se demoró de julio a octubre. Esta desviación ha causado un retraso también en la obtención de datos para test y validación, por lo que las conclusiones para el modelo del presente proyecto se extraerán con menos pruebas de las inicialmente esperadas, pero dentro del período temporal previsto. La nueva programación queda de la siguiente forma:

* Fase 1: 15/07/2024 – 02/10/2024
* Fase 2: 03/10/2024 – 21/11/2024
* Fase 3: 22/11/2024 - 11/02/2025
* Fase 4: 12/02/2025 - 18/03/2025

### Cronograma del proyecto

El proyecto se desarrolla en las siguientes fases:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR |
| FASE 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| FASE 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| FASE 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| FASE 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Figura 5. Cronograma del proyecto

### Definición del alcance del proyecto

El alcance del proyecto es la predicción de la demanda y con ello conseguir una planificación de la producción lo más efectiva posible consiguiendo entre otras mejoras:

* + Reducción en costos de inventario en un 5% al reducir el exceso de stock.
  + Incremento en la eficiencia de producción en un 10% al optimizar el uso de maquinaria y recursos humanos.
  + Reducción de tiempo de inactividad de producción debido a una mejor planificación de la demanda.
  + Reducción del tiempo de empleabilidad del departamento de planificación y aprovisionamiento en un 20%.

## Desarrollo del proyecto

### Análisis de datos y evaluación de alternativas

La definición y elección de los datos es sin duda es la parte más importante en cualquier desarrollo independientemente del ámbito en el que trabajemos ya sea IA, análisis, control, etc. En este punto abordaremos su implementación haciendo uso tanto de los “conocimientos” aportados por herramientas de gestión y control, en conjunto con la experiencia y el Know-how aportado desde la empresa sobre las variables más importantes-significativas que ayudan a que la tasa de éxito en la solución buscada sea la óptima.

Tras las varias reuniones con la empresa en relación con el objetivo de la planificación de la producción teniendo como premisa el minimizar las roturas de stock, se ha realizado un estudio pormenorizado de:

* Diferentes herramientas de gestión de stock y planificación de la producción.
* La operativa real de la empresa y el conocimiento de los especialistas en esta gestión.

Y con ello proponer unos datos objetivos, fiables y representativos que aportarán un indudable valor a la solución adoptada.

Antes de comenzar a describir en detalle las variables tomadas como referencia, para ponernos en situación las bases serán:

* Referencias codificadas.
* Stocks disponibles.
* Históricos de ventas.
* Pedidos o demanda real pendiente de servicio.
* Stock previsto en planificaciones pendientes de ejecutar.

Debido a limitaciones del EPR actual (se encuentra en proceso de migración para implementación en 2025), resaltar que los datos extraídos son una “foto” temporal a fecha y hora de descarga, que **contienen información sobre:**

* Las ventas de los 15 días anteriores: Nos permite actualizar la tendencia actual más inmediata para en función de esa salida de los diferentes artículos, proponer la necesidad de fabricación antes de ruptura.
* Las ventas en el año anterior en misma fecha, de los 15 días anteriores.
* Las ventas en el año anterior en la misma fecha, de los 15 días posteriores.

Con estos dos últimos datos del año anterior, conseguimos comparar:

* La tendencia del mismo periodo de tiempo atrás en años consecutivos.
* La tendencia entre el periodo anterior y posterior en año anterior que nos “marca” en el caso de ser representativa la diferencia una tendencia o cambio de temporada.

Llegados a este punto, realizamos una justificación del porqué se ha optado por trabajar de esta manera:

* Los datos aportados por la empresa no permiten extraer la información diaria dinámica que permitirían a un modelo proponer-predecir la información clave para la programación como es predecir la demanda.
* Como se ha descrito anteriormente el uso experto con los criterios descritos (afectación o no de tendencias) para la predicción de la demanda o venta, aportan unos resultados óptimos, sin rupturas. Produciéndose únicamente por la incapacidad productiva para cubrir la demanda, es decir, hay una capacidad para producir unas 240 toneladas semana y una venta de 250.
* Con esta implementación, tanto la descarga-actualización de datos, como el procesamiento de los mismos por el modelo y la solución aportada se simplifican y aportan una flexibilidad y dinamismo a la hora de proponer actualizaciones con resultados óptimos en tiempos mínimos.

A pesar de ser el entorno del que disponemos, y que la experiencia y pruebas verifican los resultados a lo largo del tiempo, tenemos claro que el poder tener una “foto” como la obtenida de manera diaria que permita analizar a un modelo predictivo de la demanda como variable sería lo ideal y por ello hemos propuesto a la empresa trabajar en éste sentido para la obtención de datos, ya no directamente para la ejecución y planificación usándolos ya que la solución perdería inmediatez y necesitaría gran cantidad de recursos de ejecución para análisis que en el modelo de producción sería inviable. Pero si de gran importancia sería tener los datos como validación del conocimiento experto y viceversa, ya que los datos en sí nunca están mal, si el dato no “cuadra” es debido a:

* Captura errónea, o en un espacio o contexto diferente considerado en el análisis.
* Detecta algo que el conocimiento experto no está teniendo en cuenta.

Por tanto, si en la empresa consiguen trasladar los datos en este sentido, se implementaría una medida de mejora y análisis continua cada cierto tiempo de la solución aportada, permitiendo validar-actualizar el conocimiento experto, sin perder la simplicidad-inmediatez aportada por la solución desarrollada.

A la misma vez y puesto que las roturas de stock vienen dadas por pedidos inesperados y por pérdida de producto disponible (bloqueos de calidad por incidencias, producción real inferior al teórico esperado, perdida física en almacén), para poder llevar un mayor control futuro **se solicita a la empresa comenzar a obtener datos sobre**:

* + Pedidos totales – pedidos servidos reales = Pedidos faltantes o no servidos en tiempo.
  + Histórico de bloqueos diario por producto.

Con un período no menor a 1 año, se podrían realizar estimaciones de la demanda en función de datos estadísticos.

### Descripción de los datos

En este apartado describimos las variables, con su nombre descriptivo, que componen el dataset de una manera más detallada. En el anexo se muestra el diccionario de características completo.

* **CÓDIGO:** Es la identificación del artículo o referencia de stock. Está compuesto por valores alfanuméricos de 6-12 caracteres.
* **NOMBRE:** Nombre comercial del artículo. Representado un *string* o cadena de texto.
* **PRODUCCIÓN HORA:** Es el nominal de cajas/hora teóricas a producir de un artículo determinado. Es un valor numérico del tipo *float*, con un rango habitual entre 0-300 unidades.
* **LINEA FABRICACIÓN:** identifica en abreviatura el nombre de la línea de fabricación a la que pertenece el artículo. Es un *string* de 3-6 caracteres.
* **STOCK DISPONIBLE MATRIZ:** Es la cantidad de cajas disponibles (es decir aptas para el servicio) en el almacén matriz de la fábrica. Es un tipo *int* y está en el rango 0-15000.
* **STOCK PENDIENTE CALIDAD MATRIZ:** Es la cantidad de cajas que están fabricadas de manera reciente y que están a la espera de quedar liberadas tras el muestreo por parte del departamento de calidad, esto es, se analiza que cumplen los criterios de medida, peso, … y pasan a estado disponible. Es importante contar con el stock de este estado pues el 95-99% de las veces se convierte en stock disponible (la característica anterior). Es un tipo *int* y en un rango de 0-5000.
* **STOCK EXTERNO:** Se trata del stock del artículo que está almacenado en una localización externa al almacén matriz de producción. Suele ocurrir por excedentes puntuales de producción, bloqueos de mercancía o previo a campañas de alta rotación. Es de tipo *int* y en un rango de 0-10000.
* **VENTA 15D:** Indica el número de cajas vendidas de la referencia en los últimos 15 días naturales. Es de tipo *int* y con un rango 0-10000.
* **SALIDA MEDIA 15D:** Es la venta media en cajas diaria en los últimos 15 días. Campo calculado ventas totales últimos 15 días / 15 días. Es de tipo *int* y en un rango de 0-1000.
* **VENTA AÑO ANTERIOR 15D-:** Indica el número de cajas vendidas de la referencia en los últimos 15 días naturales en el mismo periodo del año anterior. Es de tipo *int* y con un rango 0-10000.
* **SALIDA MEDIA AÑO ANTERIOR 15D-:** Es la venta media en cajas diaria en los últimos 15 días (mismo periodo) en el año anterior. Campo calculado ventas totales últimos 15 días / 15 días. Es de tipo *int* y en un rango de 0-1000.
* **VENTA AÑO ANTERIOR 15D+:** Indica el número de cajas vendidas en los próximos 15 días, pero en el año anterior. Es de tipo *int* y con un rango 0-10000.
* **SALIDA MEDIA AÑO ANTERIOR 15D+:** Es la venta media en cajas diaria en los próximos 15 días en el año anterior. Campo calculado ventas totales últimos 15 días / 15 días. Es de tipo *int* y en un rango de 0-1000.

Éstas dos últimas variables nos sirven para trasladar la información de la variabilidad o estacionalidad del artículo en el caso de llevar más de un año de alta y con ello ser de utilidad si estas diferencias son representativas, es decir, revelan tendencias o cambios de temporada.

* **%COMPARATIVA ACTUAL/ANTERIOR:** Valor en porcentaje de los últimos 15 días de venta año actual con respecto al año anterior. Es de tipo *float* y estará en el rango -100 a +100, valores negativos indicarán decrecimiento y positivos, crecimiento.
* **% COMPARATIVA ANTERIOR 15D-/ANTERIOR 15D+:** Valor en porcentaje que relaciona los 15 días anteriores del año anterior con los 15 días “futuros” del año anterior. Es de tipo *float* y estará en el rango -100 a +100, valores negativos indicarán decrecimiento y positivos, crecimiento.

La experiencia durante 10-12 años indica como claramente útil-fiable la venta de los últimos 15 días en el 95% de los casos, pero con el fin de mejorar las predicciones, nos hemos valido de estas comparativas del año anterior, con el fin de que, en el caso de tener variaciones representativas, se ha considerado variaciones por encima del 20%, tenerlas en cuenta claramente al ser inductivas de cambio.

De esta forma, los datos seleccionados permiten modelar la demanda futura y establecer patrones de comportamiento en la producción. Por ejemplo, las "ventas 15 días" aportan una fotografía reciente del consumo, mientras que las comparativas interanuales identifican tendencias estacionales. Esta información, combinada con las restricciones operativas (horas disponibles, capacidad de producción), permite una optimización que reduce roturas de stock y mejora la eficiencia.

El dataset creado a medida está compuesto por más variables, que se han decidido incorporar para futuras pruebas y/o mejoras, al igual que la recomendación a la empresa citada en la introducción de trabajar en procedimientos y herramientas adecuadas para obtener datos pedidos no servidos y bloqueos o pérdidas de stocks.

### Elección de los datos

En este punto abordaremos la selección de datos haciendo uso tanto de los “conocimientos” aportados por herramientas de gestión y control, en conjunto con la experiencia y el Know-how aportado desde la empresa sobre las variables más importantes-significativas que ayudan a que la tasa de éxito en la solución buscada sea la óptima.

Como hemos citado anteriormente, la elección de los datos ha venido claramente dada por conseguir unos datasets con la información relevante para el proceso de planificación de la producción. Datos extraídos directamente de la base de datos de la empresa y contrastados durante años de experiencia del personal interno como variables altamente predictivas, siendo la base y fiables en un 95-98% de los casos en los que se usan para tomar decisiones. En pocas palabras, hemos unido simplicidad y rendimiento predictivo.

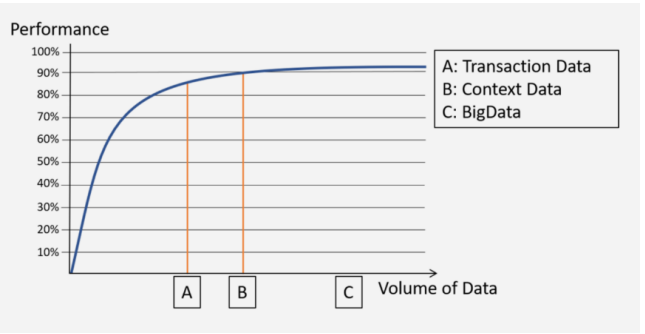
En este sentido, un mito relacionado con la Analítica Avanzada es que no es posible sin el uso de enormes cantidades de datos, lo que conocemos como Big data. En cambio, es perfectamente factible obtener modelos de un rendimiento más que aceptable con el uso de datos transaccionales como muestra el diagrama siguiente:

Figura 6. Rendimiento vs. Volumen de datos

Evidentemente, mientras más datos tengamos el rendimiento data análisis será mejor, pero hay que valorar en un modelo de producto real hasta qué punto es “beneficiosa” la complejidad de los modelos y la cantidad de datos, ya que repercuten en los recursos necesarios, en este caso donde se necesita una operativa dinámica, versátil y actualizable casi al momento, optamos claramente por simplificar en ambos sentidos.

Claramente, en un proceso-modelo de predicción como el que abordamos es crucial la representatividad de los datos. ***Andrew Ng***, uno de los pioneros en inteligencia artificial, destaca que la calidad y cantidad de datos tienen un impacto más directo en el rendimiento de un modelo que el tipo o la complejidad del modelo mismo.

La calidad de los datos **se relaciona con**

* la exactitud
* integridad
* coherencia
* puntualidad y
* relevancia de los datos.

La complejidad se refiere a

* El número y
* la variedad.

### Evaluación y estudio de alternativas

En este punto, abordaremos diferentes soluciones aplicables al objetivo. Dichas soluciones serán óptimas y/o eficientes dependiendo de los requerimientos específicos y la aplicabilidad en el entorno de desarrollo productivo que definamos. Es decir, cada una puede tener sus pros y contras.

Antes del análisis sobre las diferentes alternativas, nos ponemos en contexto, el sistema de gestión de stock y planificación de la producción combina la información de la previsión de demanda / pedidos entrantes, el control del stock actual y los días de cobertura del mismo, y la propia planificación de la producción en función de lo anteriormente nombrado más las órdenes de fabricación actuales y la disponibilidad de producción (como ya se detalló en el análisis interno).

Para todas esas áreas o fuentes de información, existen modelos de inteligencia artificial que pueden dar soporte a la predicción, monitoreo u optimización de cada proceso. Por ejemplo, modelos de series temporales como ARIMA, SARIMA o Exponential Smoothing o modelos de Machine Learning como regresión lineal o árboles de decisión pueden ayudar a predecir la demanda de cada producto y anticipar períodos de alta demanda para poder ajustar la producción.

Para nuestro caso concreto, **buscamos implementar un modelo para la gestión de stocks que proponga cuándo debemos planificar la producción de un determinado producto antes de su rotura de stock** (mínimo 3 días antes). Entramos un poco más en detalle de los enfoques de optimización que hemos explorado:

* **Modelos de Machine Learning** como Random Forest o Redes Neuronales que, como comentábamos anteriormente, se pueden utilizar para la predicción de demanda futura con base en patrones históricos. Sin embargo, no optimizan la producción o su planificación, aunque son útiles para prever roturas de stock y generar alertas preventivas. Son buenas opciones para capturar patrones no lineales, pero también requieren grandes cantidades de datos históricos y no proporcionan una propuesta de planificación óptima como buscamos, sino una predicción.
* **Simulación:** En caso de que la configuración de la producción tuviera muchas restricciones o reglas específicas, las simulaciones también nos parecían útiles. Algunos ejemplos explorados son la **Simulación de Monte Carlo** para calcular la probabilidad de agotamiento de stock en diferentes condiciones; la **Simulación de Inventario Dinámico** para ajustar la planificación en tiempo real si el stock cae cerca del nivel de rotura; **Algoritmos de Colonia de Hormigas u otros algoritmos genéricos**. Nos parecían buenas soluciones porque son adaptables y capaces de ajustarse a múltiples restricciones y escenarios. Sin embargo, no garantizan una solución óptima sino soluciones “suficientemente buenas”.
* **La Programación Lineal Entera Mixta** fue otra opción valorada. Sería útil en el caso de producir en intervalos de tiempo específicos o si los recursos son limitados y no se pueden dividir. Pero es computacionalmente intensiva y compleja de implementar. Esta vía, pero, nos abrió a la finalmente seleccionada ya que es una extensión del método Simplex y que se detalla a continuación.
* **El método Simplex y otros enfoques de programación lineal (PL)** son soluciones que buscan optimizar una función objetivo bajo ciertas restricciones. En nuestro caso, son adecuadas y efectivas para abordar problemas de planificación de producción, especialmente cuando existen restricciones de inventario, tiempos de producción y disponibilidad de recursos (como el tiempo de los turnos y la capacidad de fabricación).

El modelo de Programación Lineal es útil para optimizar la planificación de producción, asignando turnos y cantidades de producción. La función objetivo sería minimizar la probabilidad de rotura de stock y las restricciones incluirían que el inventario proyectado sea siempre igual o superior al stock mínimo o de seguridad, y la capacidad de producción y turnos.

Hemos seleccionado finalmente el método **Simplex** porque sí define la solución óptima en problemas de optimización lineal, es fácil de interpretar y permite incluir restricciones como horas mínimas de fabricación o disponibilidad horaria. Sin embargo, debemos tener muy presente que puede ser ineficiente con un alto número de variables y restricciones, especialmente si los datos varían día a día y las no linealidades pueden ser un hándicap si los tiempos de producción o la demanda no son constantes.

### Definición de la solución adoptada

Definimos de manera teórica la implementación de la solución, esto es, la inicialización del sistema, función objetivo buscada, variables de restricción y consideraciones sobre las variables estimadas.

Al igual que en el tema de la complejidad (cantidad de datos), en cuanto al modelo de desarrollo hemos optado igualmente en crear un modelo global robusto y preciso, con la virtud principal de la mayor simplicidad posible del conjunto, pues es crucial atendiendo al entorno productivo en el que se ejecutará, es decir, se necesita dinamismo y ejecuciones o respuestas casi inmediatas y/o con posibilidad de reiterados análisis de la situación en un mismo día laboral.

Los pasos del **método simplex** son los siguientes:

* + - 1. **Definir el problema en forma estándar**: Plantea el problema lineal en su forma estándar y genera la matriz inicial correspondiente.
      2. **Determinar la solución básica inicial:** Identifica una solución inicial que cumpla con las restricciones del problema.
      3. **Seleccionar la variable de entrada:** Utiliza la condición de optimalidad (evalúa cómo mejorar el valor de la **función objetivo**) para determinar qué variable entrará a la base. Si no es posible seleccionar una variable, significa que se ha alcanzado la solución óptima y el proceso termina. En caso contrario, procede al siguiente paso.

1. **Seleccionar la variable de salida:** Usa la condición de factibilidad (asegura que las **funciones de restricción** sigan cumpliéndose mientras se optimiza la solución) para determinar qué variable saldrá de la base.
2. **Actualizar la matriz:** Realiza las operaciones necesarias de Gauss-Jordan para actualizar la matriz. Luego, regresa al paso 3 para continuar el proceso hasta alcanzar la solución óptima.

#### **Inicialización del sistema**

En este apartado, se muestran las variables necesarias para definir el sistema de ecuaciones que luego se optimizarán mediante el modelo Simplex.

**Seteo planificación** (plan\_fecha, plan\_días)

Realiza planificación desde el día plan\_flecha hasta plan\_fecha + plan\_dias

**Inicialización de producto** (art\_cod, art\_nom, cajas\_hora, gru\_cod, gru\_aler, stock\_dispo, stock\_calidad, stock\_ext, fecha\_alta, vta\_media\_alta)

Agrega línea en dataset ingresado

**Mantenimiento modificado** (mant\_hs, inicio\_dia, inicio\_hora)

Actualiza horas de mantenimiento en vector mantenimiento\_anual en inicio\_dia a la inicio\_hora.

**Artículo descatalogado** (art\_cod)

Quita línea del artículo art\_cod del dataset.

**Horas disponibles modificado** (dispo\_porc, inicio\_dia)

Actualiza horas disponibles en vector disponibles\_anual en inicio\_dia por un factor de dispo\_porc.

#### Función objetivo

La función objetivo es minimizar las roturas de stock a la vez que se maximiza la producción. Esto se podrá representar como la minimización del déficit de inventario de la sumatoria de productos, como se representa en la siguiente ecuación:

* Donde **xij** representa las cantidades de producción de cada artículo (i) en un tiempo determinado (j). Por lo tanto, trabajamos con ***n*** artículos y ***m*** periodos a planificar (días).
* **demanda\_media**: representa la demanda estimada para cada día en función del conocimiento experto.
* **stock\_totali0**: Stock total del artículo i al inicio de la planificación.

Cabe mencionar que el stock total se compone de i) el stock disponible del producto (stock\_dispo); ii) el stock pendiente de control de calidad (stock\_calidad); y iii) el stock almacenado en ubicaciones externas por falta de espacio (stock\_ext).

El vector de salida que debe obtenerse para cada día es la cantidad de producto que debe producirse en cada turno de trabajo, referenciado con las horas de producción de cada uno.

Salida:

Este vector que muestra la incógnita principal resuelta se entregará en el formato deseado por la empresa y con otros indicadores que pueda solicitar de utilidad.

#### Funciones de restricción

Como funciones de restricción de este proceso de planificación de la producción tomaremos:

* Stock de seguridad: garantizar una cobertura mínima de días previstos de stock.

El stock\_seguridad se calcula en base a los días de cobertura que se pueden obtener considerando la demanda\_media; en este caso se considerarán 3 días de cobertura.

* Restricciones de producción. Vendrán dadas por:
  + Capacidad de horas productivas (marcada por el calendario laboral y de RRHH existentes), contemplando los festivos.

La cantidad de horas disponibles de producción se basa en las horas del día, los días laborables y las horas de mantenimiento programadas. También puede ser actualizado por cambios previstos de horas disponibles en una jornada específica o por cambios en el tiempo o inicio del mantenimiento.

Dispo\_hs = Laborable \* (24 – mant\_hs)\*dispo\_porc

Tanto la variable laborable como mantenimiento\_anual se pueden modificar manualmente pues se puede cambiar la previsión de mantenimiento o se puede decidir trabajar un festivo a cambio de librar un día laborable o hacer turnos extras, entre otras posibilidades.

* Restricciones de producción mínima. Cada lote productivo estará formado como mínimo por 2 horas. Parámetro marcado como mínimo por la dirección para alcanzar costes adecuados. ￼
* Restricciones por cambio de producto o familia de producto. En caso de que exista un cambio de producto, esto implica una disminución en la cadena de producción, que se ve reflejado de la siguiente forma:

Es decir que se reduce la cantidad de tiempo disponible para producción de la jornada en función de la cantidad de cambios de artículo o producto durante la jornada j.

* Restricciones por verificación de pedidos pendientes. Se consideran los pedidos programados para verificar que no se realice una producción menor a la requerida durante el período de planificación, es decir que se rompa el stock. Para todo x entre 1 y n, y para todo artículo (i):

#### Alternativa para estimar variables no determinísticas

Dado lo comentado en la sección 2.1, se decide determinar las variables no determinísticas mediante el conocimiento experto de la empresa, por lo que se utilizan las siguientes igualdades.

La planificación de producción de cajas a fabricar se calcula por defecto con los datos de las ventas medias de los 15 días previos:

Si la variación de ventas de 15 días antes y 15 días posteriores al mismo período del año anterior es mayor del 20% (tanto en crecimiento como en decrecimiento), este porcentaje se aplicará a la programación de producción:

Por otro lado, también se consideran los pedidos programados para verificar que no se realice una producción menor a la requerida durante el período de planificación, lo cual es considerado como una restricción.

Respecto a las reducciones de stock inesperadas, no se tiene una estimación actualmente, por lo que se deberá optar por replanificar al momento de detección de este cambio para evitar eventuales rupturas de stock.

### Explicación del modelo desarrollado

El modelo, escrito en **Python,** se trata de un sistema para la gestión de stock y la planificación de producción, con capacidades de predicción de demanda. Utiliza modelos de aprendizaje automático para prever la demanda de productos y optimizar la producción en función de parámetros como horas disponibles, stock actual y pedidos pendientes.

Forma

#### Estructura principal del programa

El programa está diseñado para automatizar la gestión de inventarios y la planificación de producción, utilizando predicciones avanzadas. Su estructura modular permite agregar fácilmente nuevos modelos o ajustar parámetros operativos.

El programa utiliza diversas bibliotecas populares de Python:

* **Manipulación de datos**: pandas, numpy.
* **Modelos de aprendizaje automático**: scikit-learn (regresión, escalamiento, validación cruzada, métricas).
* **Fechas y manejo de advertencias**: datetime, warnings.

Consta de dos clases principales:

1. **DemandPredictor**: Es una clase dedicada a la predicción de demanda utilizando múltiples modelos de aprendizaje automático.

**Componentes clave:**

* + **Atributos**:
    - models: Diccionario con modelos como LinearRegression, RandomForestRegressor, entre otros.
    - scaler: Escalador para normalizar las características.
    - best\_model: Almacena el mejor modelo seleccionado durante el entrenamiento.
  + **Métodos**:
    - prepare\_features: Crea y limpia las características del conjunto de datos.
    - fit: Entrena múltiples modelos, evalúa su rendimiento y selecciona el mejor en base al MAE.
    - predict: Realiza predicciones usando el modelo seleccionado.

1. **StockManagementSystem**: Es la clase principal que gestiona el flujo de datos y organiza las operaciones de predicción y optimización.

**Componentes clave:**

* + **Atributos**:
    - SAFETY\_STOCK\_DAYS: Define el stock de seguridad en días.
    - df: Conjunto de datos cargado.
    - demand\_predictor: Instancia de la clase DemandPredictor.
  + **Métodos**:
    - \_clean\_data: Limpia y procesa el conjunto de datos, convirtiendo columnas a numéricas y gestionando valores nulos.
    - \_train\_demand\_model: Entrena el modelo de predicción de demanda utilizando DemandPredictor.
    - predict\_demand: Predice la demanda futura para los productos.
    - optimize\_production: Genera un plan de producción basado en horas disponibles, stock actual y demanda futura.
    - generate\_production\_report: Crea un reporte detallado del plan de producción en un archivo CSV.

El programa se ejecuta desde un bloque if \_\_name\_\_ == "\_\_main\_\_":, donde:

1. Se inicializa una instancia de StockManagementSystem con datos de entrada.
2. Se realiza la optimización de la producción.
3. Se genera y guarda un reporte detallado.

**Tipos de secciones del programa**

1. **Configuración y carga de datos**:
   * Configura rutas de entrada y carga conjuntos de datos desde archivos CSV.
2. **Procesamiento de datos**:
   * Limpieza de datos (\_clean\_data).
   * Preparación de características (prepare\_features).
3. **Entrenamiento de modelos de predicción**:
   * Selección del mejor modelo basado en el MAE (fit).
   * Evaluación en conjunto de prueba.
4. **Optimización de recursos**:
   * Cálculo del stock necesario, horas disponibles y asignación de recursos a productos prioritarios (optimize\_production).
5. **Generación de reportes**:
   * Detalle de producción y métricas relevantes exportadas a CSV.

Validación del modelo

Resultados de las comparativas

Iteraciones

## Conclusiones

## Bibliografía

## Anexos

1. [<https://mondat.com/>](https://mondat.com/) [↑](#footnote-ref-2)
2. El término "co-packing" se refiere a un servicio de producción y logística. En este caso, una empresa subcontrata la producción, el envasado, la recogida y el embalaje de los productos a otro fabricante. [↑](#footnote-ref-3)
3. Horeca: Hostelería, restaurantes, catering [↑](#footnote-ref-4)
4. https://cimkey.es/ [↑](#footnote-ref-5)
5. Asemac: Asociación española de la industria de panadería, bollería y pastelería

   i Memoria anual 2023. Asemac. Mayo 2024 [↑](#footnote-ref-6)
6. [↑](#endnote-ref-2)