



Modeling Laboratory - Group Work. Optimization

Juan Agustín Lorca García

Paula Marín Turpín

Andrea Martos García

Rebeca Molina Bernal

Date: 14 March 2025



University of Murcia
Faculty of Mathematics

Contents

1. Introduction	2
2. Problem Statement	3
3. Formulation	4
4. Data	5
5. Code	6
6. Results	7
7. Conclusion	8
A. Glosary	9

Introduction

En el mundo actual, donde la eficiencia y la toma de decisiones estratégicas marcan la diferencia entre avanzar o quedarse atrás, la gestión de tareas dentro de una empresa adquiere un papel fundamental. Muchas veces, detrás de un buen producto o servicio, hay una planificación precisa, una coordinación cuidada y un aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles. En este contexto, las matemáticas, y más concretamente la optimización, se convierten en una herramienta poderosa para transformar la complejidad en soluciones claras y aplicables.

Este trabajo surge con la intención de tender un puente entre el conocimiento teórico y su aplicación práctica en el entorno empresarial. Hemos elegido como caso de estudio la empresa Intercrop, ubicada en Cartagena, especializada en el sector agroalimentario. Intercrop destaca por su compromiso con la sostenibilidad y la innovación en la producción agrícola, pero como toda empresa, se enfrenta a retos logísticos y organizativos que requieren soluciones inteligentes. Intercrop no solo opera a nivel nacional, sino que también mantiene una estrecha relación con el mercado internacional. Exporta una parte importante de su producción a distintos países europeos, lo que exige altos estándares de calidad, cumplimiento riguroso de plazos y una logística bien estructurada. Esta dimensión internacional añade complejidad a su gestión operativa, ya que debe coordinar las tareas agrícolas con los calendarios de transporte, las exigencias fitosanitarias y los compromisos comerciales en el extranjero. Todo ello convierte a esta empresa en un entorno especialmente interesante para aplicar herramientas de optimización que ayuden a mejorar la planificación y la eficiencia en un contexto real y exigente.

A través de este proyecto, abordaremos el problema de planificación de tareas dentro de la empresa. La meta es diseñar un modelo de optimización que permita organizar de forma eficiente las actividades, considerando las restricciones del entorno real: tiempos, recursos limitados, dependencias entre tareas y otros factores logísticos. Este proceso nos permitirá no solo aportar una propuesta de mejora a la empresa, sino también aplicar de forma práctica los conceptos matemáticos aprendidos en el aula, especialmente en lo que respecta a programación lineal y optimización.

Problem Statement

La gestión eficiente de las tareas agrícolas representa un reto significativo en el día a día de una empresa como Intercrop, especialmente cuando se trabaja con distintos productos, cada uno con requerimientos técnicos y logísticos específicos. En este proyecto, hemos decidido abordar una versión simplificada y controlada del problema real, manteniendo, sin embargo, la complejidad suficiente como para reflejar los principales desafíos que se presentan en la planificación de tareas en un entorno agrícola profesional.

Con este objetivo, hemos centrado nuestro estudio en dos fincas concretas, cada una dedicada al cultivo de un producto diferente: lechuga y espinaca. La elección de estos dos productos no ha sido aleatoria; se debe a las marcadas diferencias en sus necesidades de cuidado y manejo. De hecho, es en estas diferencias donde se concentran gran parte de las particularidades de las líneas de trabajo dentro de la empresa. Para enriquecer aún más el modelo y hacerlo más representativo, hemos considerado dos variantes dentro de cada uno de estos productos, lo que nos permite capturar con mayor fidelidad la diversidad de cultivos con la que trabaja Intercrop en la práctica.

En cada finca se lleva a cabo una secuencia de tareas específicas necesarias para completar el ciclo productivo de forma adecuada. Estas tareas, que constituyen el núcleo del proceso agrícola, son las siguientes:

1. Preparación de la tierra: conjunto de labores iniciales donde se rompe y voltea la tierra para airearla, y se abona para dejarla preparada adecuadamente antes del cultivo.
2. Creación de mesetas: mediante maquinaria especializada, se organizan las superficies de cultivo en mesetas

El tempo de una pieza puede variar según el estilo.

Formulation

Data

Durante nuestra visita a la empresa, recopilamos todos los datos necesarios para nuestro análisis. Posteriormente, la empresa nos facilitó la información que habíamos solicitado.

Para nuestro estudio, asumimos que las fincas tienen una forma rectangular, con dimensiones promedio de 100 x 300 metros. Cada meseta de cultivo mide 1.6 metros de ancho, con surcos laterales de 0.4 metros para permitir el paso de la maquinaria. Esto implica que cada camino tendrá unas dimensiones de 2 x 300 metros. En consecuencia, en cada finca disponemos de 50 caminos y sus respectivas 50 mesetas para el cultivo.

Dado que todas las tareas están mecanizadas, es fundamental considerar la velocidad de las máquinas utilizadas en el proceso. Aunque la empresa nos proporcionó estos datos en kilómetros por hora (km/h), para facilitar nuestra formulación convertimos las unidades a caminos por hora.

TASK	SPEED
Soil preparation	2
Install paper	4
Plant	3
Sow	4
Install irrigation	3
Install hoops	3
Install mesh	3
Remove irrigation	3
Remove mesh	4
Remove hoops	3
Harvest seeds	3
Harvest plants	2

Nuestra planificación está diseñada para organizar un mes de trabajo. Considerando una jornada laboral de 8 horas diarias, trabajamos con un total de 240 horas al mes.

Por otro lado, los trabajadores se incorporan a la campaña de manera escalonada. Cada uno de ellos está especializado en una tarea específica, lo que da lugar a la formación de grupos de trabajo especializados. El número de trabajadores por grupo varía en función de la tarea asignada.

Code

Results

Conclusion

Glosary

- Topo - Aperero - Siembra - Plantación - Meseta - Arquillo - Malla - Papel - Farm lanes: caminos entre las mesetas para el paso de la maquinaria.

Buenas tardes a todos,

Hemos simplificado el problema dejando solo dos fincas porque vamos a trabajar con dos productos distintos: lechugas y espinacas. En cada uno de estos productos hemos considerado dos variantes. La elección de estos dos productos se debe a las diferencias de cuidados que necesitan pues todas las diferencias en las líneas de trabajo se concentran en las variedades escogidas. Las tareas que deben considerarse son:

1. Preparación de tierra: se trata de un conjunto de tareas. Se rompe y voltea la tierra para airearla y se abona para dejarla preparada.
2. Creación de mesetas: con un tractor se generan las mesetas (extensión de tierra ordenada) donde se realizarán las siguientes labores con las medidas necesarias para plantar/sembrar (según corresponda)
3. Colocar papel: se colocan unas láminas de papel para evitar que crezcan malas hierbas alrededor del producto.
4. Sembrar/plantar: la siembra es la introducción de semillas en la tierra, mientras que plantar es introducir una planta un poco cultivada previamente por una empresa externa.
5. Riego: se deben colocar los aspersores en las laderas de las mesetas.
6. Arquillos: se colocan unos arcos metálicos para poder dejar distancia entre el cultivo y la malla y que se mantenga el calor.
7. Poner malla: se coloca una malla de poliamida encima de los arquillos para proteger los cultivos y dejamos crecer los cultivos.
8. Quitar malla: tras la maduración del cultivo se retira la malla
9. Quitar arquillos: se retiran los arquillos.
10. Quitar Riego: se retiran los dispositivos de riego.
11. Recoger la cosecha: se distingue dos formas de recoger los cultivos. Dependiendo si se necesitan trabajadores que vayan colocando los productos en las cajas o si se hace de forma automática.

Como cada tarea necesita una maquinaria distinta, la velocidad a la que se realiza irá variando en función de la misma. Los datos proporcionados por la empresa venían dados en km/h, pero como simplificación nosotros hemos traducido estos datos en mesetas/hora. Otra simplificación necesaria ha sido considerar que nuestras fincas seleccionadas tendrán una medida "media". Por otro lado, consideraremos que existen 2 grupos de trabajo independientes, uno para cada producto. Así, cada

grupo de trabajo tendrá una maquinaria distinta y realizará las tareas de forma independiente, sin tener en consideración como se realicen las tareas en la otra finca.

Estamos considerando que trabajamos en una atmósfera idílica, en la que el clima va a permitir que se puedan realizar todas las labores de trabajo y no hay ningún tipo de rotura en la maquinaria que genere un retraso en la planificación de las tareas.

Tras nuestra visita para ver el funcionamiento de la empresa, vimos como algunos equipos de trabajo se solapaban en una misma meseta. Esto generaba horas muertas en algunos grupos de trabajo, ya que no podían empezar hasta que hubiese terminado la anterior. Estas hora contabilizan en el computo de horas semanales, pero sin embargo, son horas muertas en las que no se ha realizado ninguna tarea, solo le cuesta dinero a la empresa.

El problema trata de minimizar el numero de horas muerta que hay ente los grupos de trabajo.

Tras un planteamiento más concreto del ejercicio empezamos con la fomulación que tenemos.

Las variables que vamos a considerar son:

X_{ijkl} es una variable binaria que nos dice si el equipo de trabajo i esta trabajando en la tierra j en el camino k durante la hora l .

W_{il} es una variable binaria que nos indica si la tarea i tiene caminos disponibles durante la hora l .

Los índices de las variables j, k, l irán dependiendo de la cantidad de tareas que se tenga que realizar en el cultivo en el que estemos. De esta forma reduciremos considerablemente el número de variables y restricciones neccesarias.

Definimos las siguientes constantes: T_i hace referencia al número máximo de caminos que puede realizar cada tarea i .

C_i son los caminos totales en los que se puede realizar la tarea i .

L_i es la hora estimada a la que debería empezar la tarea i .

La funcion objetivo es:

$$\min \sum_{i,l} \left(\frac{T_i - \sum_{j,k} X_{ijkl}}{T_i} \right) W_{il}$$

Las restricciones son:

Cada tarea se realiza una sola vez en cada uno de los caminos

$$\sum_l X_{ijkl} \leq 1 \quad \forall i, j, k$$

Una tarea no se puede realizar si no se han realizado las tareas anteriores en ese camino

$$X_{ijkl} \leq X_{(i-1)jkl} \quad \forall i > 1, j, k, l$$

Número máximo de caminos que realiza cada equipo de trabajo i en la hora l

$$\sum_{j,k} X_{ijkl} \leq T_i \quad \forall i, l$$

Forzamos que la variable W_{il} sea 1 cuando queden el equipo de trabajo i tenga caminos disponibles en los que trabajar

$$W_{il} \geq \frac{C_i - \sum_{j,k} X_{ijkl}}{C_i} \quad \forall i, l$$

