

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
2.1. Simplificaciones del modelo	5
3. Formulation	6
4. Data	7
5. Code	8
6. Results	9
7. Conclusion	10
A. Glossary	12

Introduction

PRUEBA GLOSARIO: tempo^(*)

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 planificación de tareas en el entorno agrícola representa un desafío logístico y operativo considerable, especialmente en empresas que operan bajo un modelo de producción bajo pedido, como es el caso de Intercrop. Esta empresa, situada en Cartagena y especializada en productos hortícolas, organiza su producción en función de la demanda estacional. Durante la campaña de verano, se establecen con antelación tanto la cantidad de kilogramos de producto que se deben suministrar como las fechas específicas de entrega. Esto implica que toda la planificación de cultivo, desarrollo, cosecha y distribución debe estar ajustada con precisión para cumplir los plazos, garantizar la calidad del producto fresco (con una vida útil de entre siete y diez días) y minimizar los costes operativos.

El objetivo de este trabajo es abordar, desde un enfoque matemático y práctico, el problema de planificación de tareas agrícolas en el entorno real de esta empresa. Para ello, nos centraremos en dos cultivos principales: lechuga y espinaca, cada uno con dos variantes específicas.

- **Lechuga:** se cultiva en dos variedades, una de hoja rizada (Apollo, Fig. 1) y otra de hoja lisa (Knox Cos, Fig. 2). La lechuga de hoja rizada es más delicada y requiere un cuidado especial. Por su parte, la lechuga de hoja lisa es más resistente y se adapta mejor a condiciones menos precisas.
- **Espinaca:** también se cultiva en dos variedades, una de hoja pequeña (Baby Spinach, Fig. 3) y otra de hoja mediana (Teen Spinach, Fig. 4). En cuanto a las difere en el tratamiento, no se encuentran ambios sustanciales en el cuidado.



Figure 1: Variedad Lechuga Apollo.

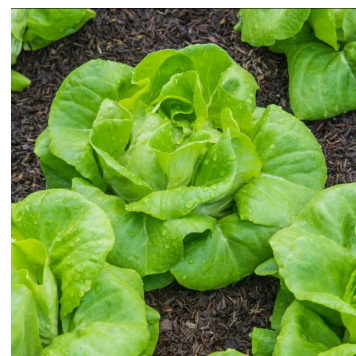


Figure 2: Variedad Lechuga Knox Cos.

Antes de pasar a desglosar las tareas que engloban el poceso de cultivo, es importante destacar una diferencia fundamental entre ambos productos. La lechuga se trabaja mediante plantación: las semillas se envían a un semillero y posteriormente se trasplantan las plántulas al campo. En el caso de la espinaca, se utiliza el método de siembra directa, introduciendo las semillas directamente en la tierra. Debido al diferente proceder de ambos métodos, cada cultivo tendrá sus tiempos y necesidades específicas, lo que influirá en la planificación de las tareas.

La lista de tareas necesarias para completar un ciclo de cultivo es la siguiente:



Figure 3: Variedad Baby Spinach.



Figure 4: Variedad Teen Spinach.

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. CREACION VA DENTRO DE PREPARACION
2. Creación de mesetas: mediante maquinaria especializada, se organizan las superficies de cultivo en mesetas
3. Colocar papel: se instalan láminas que impiden el crecimiento de malas hierbas, lo que reduce la competencia con el cultivo principal.
4. Sembrar o plantar: según el tipo de variante, se introducen semillas directamente o se plantan brotes previamente cultivados por una empresa externa.
5. Riego: instalación de sistemas de riego por aspersión en las laderas de las mesetas, necesarios para el mantenimiento del cultivo.
6. Colocación de arquillos: se instalan arcos metálicos sobre los cultivos para dar soporte a la protección posterior.
7. Poner malla: se cubren los arquillos con una malla de poliamida que protege los cultivos y ayuda a mantener la temperatura adecuada para su desarrollo.
8. Quitar malla: una vez que el cultivo ha madurado, se retira la malla protectora.
9. Quitar arquillos: tras la retirada de la malla, se procede a desmontar los arquillos metálicos.
10. Quitar riego: se desmonta el sistema de riego instalado previamente.
11. Recogida de cosecha: proceso final de recolección, que puede realizarse manualmente (con operarios que colocan los productos en cajas) o de forma automatizada.

Cada una de estas tareas se lleva a cabo con maquinaria distinta, generalmente aperos arrastrados por tractores, lo que implica velocidades de trabajo diferentes según el equipo empleado. Además, Intercrop organiza su producción mediante grupos de trabajo especializados, que no están contratados desde el inicio de campaña, sino que se van incorporando según se requieren sus funciones. Esta estructura permite adaptarse a las necesidades del proceso, pero también genera cuellos de botella cuando un grupo debe esperar a que otro finalice su tarea para continuar.

Durante nuestra visita a la empresa, observamos que esta falta de sincronización entre grupos provoca frecuentes horas muertas: periodos en los que los trabajadores están presentes pero sin poder actuar, ya que el trabajo anterior aún no ha finalizado. Estas horas, aunque no productivas, computan en el total de horas trabajadas y generan un coste económico directo para la empresa.

La presente propuesta tiene como objetivo central la creación de un modelo de planificación que permita minimizar las horas improductivas entre grupos de trabajo, garantizando al mismo tiempo que se cumplan los plazos de entrega comprometidos. Una coordinación más eficiente de las tareas supondría una mejora significativa en la utilización de los recursos, reduciendo tiempos de espera y aumentando la productividad general del sistema.

Simplificaciones del modelo

Para poder abordar el problema desde un punto de vista matemático y computacional, ha sido necesario realizar algunas simplificaciones, que nos permiten centrarnos en los aspectos esenciales del proceso sin pérdida de generalidad:

- Reducción de escala: el modelo se aplica únicamente a dos fincas, una dedicada a lechuga y otra a espinaca. Esta decisión permite trabajar con dos líneas de producción diferenciadas y representativas, sin necesidad de modelar toda la operación global de la empresa.
- Fincas de tamaño medio: se ha asumido que ambas fincas tienen dimensiones similares y medias, lo que permite aplicar el mismo esquema de planificación a cada una sin consideraciones de tamaño o forma específicas.
- Cultivo homogéneo: se considera que en una misma finca realizaremos las tareas que necesarias para el cuidado de la variedad más delicada. Por tanto, supondremos que en la finca destinada a las lechugas se realizan todas las tareas de la lista mencionada, y en el caso de las espinacas obviaremos el uso de malla y arquillo. Así, en la primera finca se realizarán TERMINAR
- Grupos de trabajo independientes: cada cultivo es atendido por un grupo de trabajo diferente, con su propia maquinaria y recursos. Esto permite tratar ambas líneas de producción de manera paralela y simplificada.
- Conversión de unidades: las velocidades de la maquinaria, proporcionadas por la empresa originalmente en kilómetros por hora, han sido traducidas a caminos por hora, para simplificar la formulación y adaptar las unidades a la estructura del modelo.
- Condiciones ideales: el modelo se desarrolla bajo un escenario en el que no hay fallos mecánicos ni interrupciones por causas climáticas. Es decir, se asumen que todas las tareas se realizan en el tiempo estimado y que no hay retrasos por factores externos.
- Jornada laboral fija: se considera una jornada laboral de 8 horas diarias, sin cambios estacionales ni festivos.

Estas simplificaciones no eliminan la complejidad del problema, pero permiten estructurar un modelo realista, funcional y computacionalmente viable que sirva como base para una futura ampliación o implementación práctica.

Formulation

Lo primero que tenemos que hacer para poder definir la formulación es definir unos parametros de forma correcta para facilitar el tratamiento del problema. **Parametros** Definimos los parametros que engloban las tareas que se realizan en cada una de las tierras.

$$T_1 := \text{preptierra1, papel1, plantar1, ponerriego1, ponerredalla1, quitarmalla1, quitarriego1, cosecha1}$$

$$T_2 := \text{preptierra2, sembrar2, ponerriego2, quitarriego2, cosechar2}$$

También tenemos que tener los parametros que nos indican el número de caminos y el número de horas con los que trabajamos. Como ambas serán iguales en las dos tierras solo hace falta considerar los parametros una vez.

$$C := 1...50$$

$$H := 1...240$$

Como las tareas van entrando de forma escalonada, los horarios de todas ellas no serán iguales. Por lo que definimos una familia de horarios para cada una de las

$$H_1 := \{H_{\text{preptierra1}}, H_{\text{papel1}}, H_{\text{plantar1}}, H_{\text{ponerriego1}}, H_{\text{ponerredalla1}}, H_{\text{quitarmalla1}}, H_{\text{quitarriego1}}, H_{\text{cosecha1}}\}$$

$$H_2 := \{H_{\text{preptierra2}}, H_{\text{sembrar2}}, H_{\text{ponerriego2}}, H_{\text{quitarriego2}}, H_{\text{cosechar2}}\}$$

Cada maquina tiene una velocidad que escribiremos

$$M_{i_1} := \text{numero maximo de mesetas por camino en una hora } \forall i_1 \in T_1$$

$$M_{i_2} := \text{numero maximo de mesetas por camino en una hora } \forall i_2 \in T_2$$

Tenemos que tener en cuenta en las mesetas donde tenemos que realizar la tarea al menos una vez

$$C_{i_1} := \text{numero de mesetas donde se tiene que realizar la tarea } i_1 \text{ alguna vez } \forall i_1 \in T_1$$

$$C_{i_2} := \text{numero de mesetas donde se tiene que realizar la tarea } i_2 \text{ alguna vez } \forall i_2 \in T_2$$

Cada tarea esta asignada a un grupo de trabajo que tiene a varias persona. Por lo que como tenemos que saber que cantidad de personas hay en cada una de las tareas.

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

Table 1: Tabla de tareas y velocidades

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

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

Glossary

tempo Velocidad a la que se interpreta una pieza musical. 2