



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Escola Tècnica
Superior d'Enginyeria
Informàtica



etsinf

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica

Universitat Politècnica de València

07 de enero de 2025

LOGÍSTICA DE LA EMPRESA EMPRESA DE APICULTURA

LOGÍSTICA INDUSTRIAL Y OPTIMIZACIÓN | GRUPO A1

Grado en Informática Industrial y Robótica

Autores/Autoras:

Marcos Belda Martínez | mbelmar@etsinf.upv.es

Ángela Espert Cornejo | aespcor@etsinf.upv.es

Lourdes Francés Llimerá | lfralli@epsa.upv.es

Tutor:

Francisco Sánchez Sáez | frasansa@eio.upv.es

RESUMEN

Este documento analiza la optimización de porcentajes de producción y la mejora del transporte de una empresa apicultora mediante modelos matemáticos. Se describen los problemas, se presentan los datos y se desarrollan modelos iniciales con variables, funciones objetivo y restricciones. Además, se detalla la implementación en Excel y el uso de *Solver* para obtener soluciones óptimas. El objetivo es proporcionar soluciones eficientes y efectivas para cada problema, utilizando herramientas de análisis y optimización.

Palabras clave: modelo, variables, funciones objetivo, restricciones, Excel, Solver, optimización.



TABLA DE CONTENIDOS

LISTADO DE TABLAS	iii
LISTADO DE FIGURAS	iv
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	6
1.1 INTRODUCCIÓN.....	6
1.2. OBJETIVOS.....	6
PORCENTAJES ÓPTIMOS.....	6
MEJORA DEL TRANSPORTE.....	6
2. PORCENTAJES ÓPTIMOS.....	7
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	7
2.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL	7
2.1.2. PROCEDENCIA DE LOS DATOS	8
2.2. MODELO INICIAL	9
2.2.1. VARIABLES	9
2.2.2. FUNCIÓN OBJETIVO	9
2.2.3. RESTRICCIONES.....	9
2.2.4. MODELO COMPLETO.....	10
2.2.5. MODELO EN EXCEL	14
2.2.5.1. DISPOSICIÓN DE LOS DATOS DEL MODELO	14
2.2.5.2. USO DEL SOLVER	20
2.2.6. SOLUCIONES OBTENIDAS	22
3. MEJORA DEL TRANSPORTE	25
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	25
3.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL	25
3.1.2. PROCEDENCIA DE LOS DATOS	28
3.2. MODELO INICIAL	28
3.2.1. VARIABLES	28
3.2.2. FUNCIÓN OBJETIVO	29
3.2.3. RESTRICCIONES.....	29
3.2.4. MODELO COMPLETO	30
3.2.5. MODELO EN EXCEL	35
3.2.5.1. DISPOSICIÓN DE LOS DATOS DEL MODELO	35
3.2.5.2. USO DEL SOLVER	46
3.2.6. SOLUCIONES OBTENIDAS	48
4. CONCLUSIONES	49
PORCENTAJES ÓPTIMOS.....	49
MEJORA DEL TRANSPORTE.....	49
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Materias primas por colmena anuales.	7
Tabla 2: Datos de los productos terminados (<i>packs</i>).	8
Tabla 3: Datos de los productos terminados (<i>packs</i>) – Parte 1.	8
Tabla 4: Datos de los productos terminados (<i>packs</i>) – Parte 2.	8
Tabla 5: Tabla de los datos de materia prima.	15
Tabla 6: Tabla de los datos de productos terminados.	15
Tabla 7: Tabla de los datos de productos terminados (<i>packs</i>).	15
Tabla 8: Tabla de los datos de productos terminados (<i>packs</i>) – Parte 1.	16
Tabla 9: Tabla de los datos de productos terminados (<i>packs</i>).	16
Tabla 10: Tabla de los datos calculados de las materias primas.	16
Tabla 11: Tabla de los datos calculados de los productos acabados.	16
Tabla 12: Tabla de los datos iniciales calculados de los productos acabados (<i>packs</i>).	17
Tabla 13: Tabla de los datos iniciales calculados de los productos acabados (<i>packs</i>).	17
Tabla 14: Tabla de los datos iniciales calculados a partir de los datos de la empresa.	18
Tabla 15: Tabla inicial de las variables principales – Parte 1.	18
Tabla 16: Tabla inicial de las variables principales – Parte 2.	18
Tabla 17: Tabla inicial de la producción anual de productos acabados (<i>packs</i>) – Parte 1.	19
Tabla 18: Tabla inicial de la producción anual de productos acabados (<i>packs</i>) – Parte 2.	19
Tabla 19: Tabla inicial de las subvariables.	19
Tabla 20: Tabla inicial del resultado de la función objetivo.	19
Tabla 21: Tabla inicial de la restricción de pedidos.	19
Tabla 22: Tabla inicial de la restricción de productos terminados (<i>packs</i>) mínimos.	20
Tabla 23: Tabla inicial de la restricción de control de utilización de los productos.	20
Tabla 24: Tabla de las variables y subvariables calculadas con <i>Solver</i> – Parte 1.	22
Tabla 25: Tabla de las variables y subvariables calculadas con <i>Solver</i> - Parte 2.	22
Tabla 26: Tabla de las variables y subvariables calculadas con <i>Solver</i> - Parte 3.	23
Tabla 27: Informe de sensibilidad.	25
Tabla 28: Empleados según su experiencia laboral.	26
Tabla 29: Tabla de los datos de los pedidos.	35
Tabla 30: Cálculo del beneficio semanal.	35
Tabla 31: Tabla de los datos de los vehículos.	35
Tabla 32: Tabla de los datos según la experiencia.	36
Tabla 33: Horas de trabajo por día.	36
Tabla 34: Relación entre 1-Sí y 0-No.	36
Tabla 35: Tabla de los datos de los candidatos.	36
Tabla 36: Tabla de los horarios de los candidatos.	37
Tabla 37: Tabla de los datos calculados a partir de los datos de la empresa.	38
Tabla 38: Tabla inicial de las variables principales.	39
Tabla 39: Tabla inicial del número de recargas de cada vehículo.	40
Tabla 40: Tabla inicial del número de pedidos máximos semanales.	40
Tabla 41: Tabla inicial del número de trabajadores contratados según su experiencia.	41
Tabla 42: Tabla inicial de los costes y el beneficio por ventas.	41
Tabla 43: Tabla inicial del resultado de la función objetivo.	41
Tabla 44: Tabla inicial de la restricción de pedidos mínimos.	42
Tabla 45: Tabla inicial de la restricción de furgonetas máximas.	42
Tabla 46: Tabla inicial de la restricción de bicicletas máximas.	43
Tabla 47: Tabla inicial de las restricciones de número de trabajadores.	44

iii



Tabla 48: Tabla inicial de la restricción de los aprendices.	45
Tabla 49: Tabla inicial de la restricción de control de uso de vehículos.	45
Tabla 50: Tabla inicial de la restricción que controla si el trabajador tiene carné de conducir.	46
Tabla 51: Tabla inicial de la restricción que controla si el trabajador sabe ir en bicicleta.	46

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Objetivos y celdas variables del <i>Solver</i> (Porcentajes Óptimos).	21
Figura 2: Restricciones y método de resolución del <i>Solver</i> (Porcentajes Óptimos).	22
Figura 3: Características de las furgonetas.	26
Figura 4: Características de las bicicletas.	26
Figura 5: Candidatos de la empresa – Parte 1.....	27
Figura 6: Candidatos de la empresa – Parte 2.....	28
Figura 7: Objetivos y celdas variables del <i>Solver</i> (Mejora del transporte).	46
Figura 8: Restricciones y método de resolución del <i>Solver</i> (Mejora del transporte).	47
Figura 9: Opciones del método de resolución del <i>Solver</i> (Mejora del transporte).	48

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

La empresa definida en este documento se especializa en la producción, procesamiento y comercialización de diversos productos apícolas. Esta engloba todas las etapas del proceso, desde la crianza de las abejas y recolección de la materia prima, hasta la distribución para la venta del producto final.

Se sitúa en el sector apícola, el cual comprende todas aquellas actividades relacionadas con la crianza de las abejas y la producción de miel y otros derivados, como la jalea real y los propóleos. Este sector tiene una gran importancia socioeconómica y ecológica, y se encuentra en un crecimiento constante. Esto se debe a que juega un papel fundamental en la conservación del medio natural, la polinización de los cultivos y el mantenimiento de la biodiversidad.

1.2. OBJETIVOS

Esta empresa tiene dos objetivos principales:

PORCENTAJES ÓPTIMOS

La empresa pretende, teniendo en cuenta el número de colmenas y la cantidad de miel, polen, jalea y propóleo que obtiene, calcular el porcentaje de productos que debe vender de forma individual y en pack para lograr maximizar sus beneficios.

El objetivo principal será, por consecuencia, encontrar aquellos valores de los parámetros que permitan obtener un mayor beneficio teniendo en cuenta las restricciones de ventas que se explicarán en posteriores apartados.

MEJORA DEL TRANSPORTE

Además, la empresa busca optimizar la logística de ventas, centrándose en el transporte de los pedidos y los elementos que intervienen en esta fase. La empresa cuenta con dos medios de transporte, furgonetas y bicicletas eléctricas; y nueve posibles empleados con experiencias laborales diversas que serán definidos de forma más extensa en posteriores apartados.

El objetivo principal será, por consecuencia, encontrar aquellos valores de los parámetros que permitan obtener un mayor beneficio, es decir, cumplir con los envíos semanales programados por la empresa minimizando el coste laboral y de transporte.

- **Coste laboral:** Dinero destinado al sueldo de los empleados.
- **Coste de transporte:** Dinero invertido en recargar las baterías tanto de las bicicletas como de las furgonetas eléctricas.

2. PORCENTAJES ÓPTIMOS

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

2.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

DATOS DE LA EMPRESA

MATERIAS PRIMAS

La empresa cuenta con 2000 colmenas. Por cada colmena, se obtienen las siguientes cantidades de materia prima anuales:

Materia Prima	Cantidad Producida	Unidad
Miel	25	kg
Polen	1500	g
Jalea	1000	mg
Polen	200	ml

Tabla 1: Materias primas por colmena anuales.

PRODUCTOS TERMINADOS

La empresa emplea estas materias primas para realizar los siguientes productos:

- Tarros de miel de abeja de 1 kg y de 0,5 kg.
- Tarros de polen de 200 gramos.
- Envases de jalea real de 25 gramos.
- Envases de propóleo de 30 mililitros.

A la hora de distribuir la cantidad de materia prima destinada a la realización de tarros de miel de abeja, la empresa establece que el 60% de la miel se emplea para los tarros de 1 kg y el 40%, para los de 0,5 kg.

PRODUCTOS TERMINADOS (PACKS)

Los productos terminados se pueden vender de forma individual o en *packs*. La empresa busca optimizar el porcentaje de productos destinados a cada uno de estos tipos de venta. Aun así, proporciona unos valores iniciales que permiten conocer la situación actual de la empresa.

Además, para poder realizar cálculos de costes y beneficios, la empresa aporta los datos referentes tanto al coste de obtención como precio de venta de cada tipo de producto terminado (*packs*). Todos estos datos son observables en la Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4.

Materia Prima	Miel			
Producto Acabado	Tarros 1kg		Tarros 0,5 kg	
Producto Acabado (packs)	Pack 1	Pack 12	Pack 1	Pack 12
Utilización de los Productos Acabados	20%	80%	20%	80%
Cantidad de pack	1	12	1	12
Coste de Obtención	1,31 €	15,72 €	0,96 €	11,52 €
Precio de Venta	7,86 €	76,10 €	3,36 €	32,90 €

Tabla 2: Datos de los productos terminados (packs).

Materia Prima	Polen	
Producto Acabado	Tarros 200 g	
Producto Acabado (packs)	Pack 1	Pack 12
Utilización de los Productos Acabados	30%	70%
Cantidad de pack	1	12
Coste de Obtención	0,91 €	10,92 €
Precio de Venta	4,09 €	39,96 €

Tabla 3: Datos de los productos terminados (packs) – Parte 1.

Materia Prima	Jalea		Propóleo	
Producto Acabado	Envases 25 g		Envases 30 ml	
Producto Acabado (packs)	Pack 1	Pack 24	Pack 1	Pack 24
Utilización de los Productos Acabados	15%	85%	10%	90%
Cantidad de pack	1	24	1	24
Coste de Obtención	1,87 €	44,88 €	1,89 €	45,36 €
Precio de Venta	7,50 €	144,53 €	7,44 €	143,39 €

Tabla 4: Datos de los productos terminados (packs) – Parte 2.

NECESIDADES DE LA EMPRESA

La empresa busca, como se ha mencionado, buscar aquellos porcentajes de utilización de los productos acabados que le permita maximizar sus beneficios. Todo esto teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- El número de pedidos no debe ser muy superior al actual, siendo como máximo de 900 pedidos.
- Anualmente, la empresa debe poder satisfacer las demandas de sus clientes. Para ello, es necesario seguir un cierto control de las cantidades mínimas producidas de cada producto.

Estas condiciones se explicarán más extensamente en el apartado correspondiente a las restricciones.

2.1.2. PROCEDENCIA DE LOS DATOS

Para la realización de esta parte de la tarea, se han empleado los datos del primer trabajo realizado, es decir, el documento “Empresa Apicultora – Bloque 1 – Datos y Cálculos”. Aun así, se ha aumentado el número de colmenas con las que cuenta la empresa con el objetivo de poder realizar cálculos de

forma menos restringida, ya que el número de pedidos semanales se vería muy reducido en caso contrario.

2.2. MODELO INICIAL

2.2.1. VARIABLES

VARIABLES

Las variables principales, y que condicionan el resto de los factores a tener en cuenta a la hora de realizar el modelo, son las que controlan la distribución de los productos acabados a la hora de venderlos como individuales o *packs*. Estas se expresan como un porcentaje (%).

SUBVARIABLES

Otros factores que influyen a la hora de conocer los parámetros óptimos son los siguientes:

- **Producción anual por producto acabado (*packs*):** Esta información se obtiene teniendo en cuenta la cantidad de envases y el porcentaje de utilización del producto. Será importante para controlar si se alcanzan las necesidades mínimas de cada producto establecidas por la empresa.
- **Producción anual y semanal total:** La producción anual se obtiene sumando el número de productos acabados (*packs*) mientras que la semanal, dividiendo este valor entre el número de semanas que hay en un año. Conocer esta información permite saber si se satisfacen o no las expectativas de pedidos semanales.
- **Gasto en producción semanal:** Este dato se obtiene teniendo en cuenta la producción semanal y el coste de producción de cada tipo de producto terminado.
- **Beneficio por ventas semanal:** Este dato se obtiene teniendo en cuenta la producción semanal y el precio de venta de cada tipo de producto terminado. Conjunto con el gasto en producción, este permite conocer el beneficio total que obtendrá la empresa aplicando los nuevos porcentajes calculados mediante el modelo.

2.2.2. FUNCIÓN OBJETIVO

FUNCIÓN OBJETIVO

La empresa busca maximizar el beneficio. Por lo tanto, la función beneficio vendrá dada por la diferencia entre los ingresos por ventas y los costos de producción, expresada en €/semana.

2.2.3. RESTRICCIONES

A la hora de realizar este modelo, la empresa plantea distintas condiciones que deben cumplirse.

PEDIDOS

El número de productos finales (*packs*) producidos por semana no debe ser superior a 900, es decir, el número de ventas por semana será de 900 productos como máximo, pudiendo ser inferior.

PRODUCTOS TERMINADOS (PACKS)

Como se ha comentado anteriormente, la empresa tiene clientes que solicitan productos semanalmente. Es por ello por lo que se establecen las siguientes restricciones:

- Se deben producir un mínimo de 1000 *packs* individuales de tarros de miel de 0,5 kg.
- Se deben producir un mínimo de 1700 *packs* individuales de tarros de poles de 200 g.
- Se deben producir un mínimo de 2000 *packs* individuales de envases de jalea real de 25 g.
- Se deben producir un mínimo de 300 *packs* individuales de envases de propóleo de 30 ml.
- Se deben producir un mínimo de 1500 *packs* de 12 de tarros de miel de 1 kg.

Además, se deben emplear todos los recursos disponibles, es decir, el 100 % de los productos terminados (*packs*).

2.2.4. MODELO COMPLETO

En este apartado se detalla todo el modelo, expresando de forma matemática las variables, la función objetivo y las restricciones a las que está sujeto.

VARIABLES

VARIABLES

Variables reales que indica los porcentajes de utilización de los productos acabados (*packs*):

- $X_{UtilizaciónProductosAcabados(Miel Tarro 1 kg Pack 1)}$
- $X_{UtilizaciónProductosAcabados(Miel Tarro 1 kg Pack 12)}$
- $X_{UtilizaciónProductosAcabados(Miel Tarro 0,5 kg Pack 1)}$
- $X_{UtilizaciónProductosAcabados(Miel Tarro 0,5 kg Pack 12)}$
- $X_{UtilizaciónProductosAcabados(Polen Tarro 200 g Pack 1)}$
- $X_{UtilizaciónProductosAcabados(Polen Tarro 200 g Pack 12)}$
- $X_{UtilizaciónProductosAcabados(Jalea Envase 25g Pack 1)}$
- $X_{UtilizaciónProductosAcabados(Jalea Envase 25g Pack 24)}$
- $X_{UtilizaciónProductosAcabados(Propóleo Envase 30 ml Pack 1)}$
- $X_{UtilizaciónProductosAcabados(Propóleo Envase 30 ml Pack 24)}$

SUBVARIABLES

Valores reales que indica la producción anual de los productos acabados (*packs*):

$$Y_{ProducciónAnual((Producto Acabado (Packs))i)} =$$

$$\frac{(Producción Anual)_{((Producto Acabado (Packs))i)} \cdot X_{UtilizaciónProductosAcabados((Producto Acabado (Packs))i)}}{(Cantidad de Packs)_{((Producto Acabado (Packs))i)}}$$

$$Y_{ProducciónAnual(Miel Tarro 1 kg Pack 1)} = 30000 \cdot X_{UtilizaciónProductosAcabados(Miel Tarro 1 kg Pack 1)} / 1$$

$$Y_{ProducciónAnual(Miel Tarro 1 kg Pack 12)} = 30000 \cdot X_{UtilizaciónProductosAcabados(Miel Tarro 1 kg Pack 12)} / 12$$

$$Y_{ProducciónAnual(Miel Tarro 0,5 kg Pack 1)} = 40000 \cdot X_{UtilizaciónProductosAcabados(Miel Tarro 0,5 kg Pack 1)} / 1$$

$$Y_{ProducciónAnual(Miel Tarro 0,5 kg Pack 12)} = 40000 \cdot X_{UtilizaciónProductosAcabados(Miel Tarro 0,5 kg Pack 12)} / 12$$

$$Y_{ProducciónAnual(Polen Tarro 200 g Pack 1)} = 15000 \cdot X_{UtilizaciónProductosAcabados(Polen Tarro 200 g Pack 1)} / 1$$

$$Y_{ProducciónAnual(Polen Tarro 200 g Pack 12)} = 15000 \cdot X_{UtilizaciónProductosAcabados(Polen Tarro 200 g Pack 12)} / 12$$

$$Y_{ProducciónAnual(Jalea Envase 25g Pack 1)} = 80000 \cdot X_{UtilizaciónProductosAcabados(Jalea Envase 25g Pack 1)} / 1$$

$$Y_{ProducciónAnual(Jalea Envase 25g Pack 24)} = 80000 \cdot X_{UtilizaciónProductosAcabados(Jalea Envase 25g Pack 24)} / 24$$

$$Y_{ProducciónAnual(Propóleo Envase 30 ml Pack 1)} = 13333,33 \cdot X_{UtilizaciónProductosAcabados(Propóleo Envase 30 ml Pack 1)} / 1$$

$$Y_{ProducciónAnual(Propóleo Envase 30 ml Pack 24)} = 13333,33 \cdot X_{UtilizaciónProductosAcabados(Propóleo Envase 30 ml Pack 24)} / 24$$

• • • • •

Valor real que indica la producción anual total de los productos acabados (*packs*):
 * hay que realizar el sumatorio de todas las producciones anuales de los 10 productos acabados (*packs*)

$$Y_{ProducciónAnualTotal} = \sum_{i=1}^{10} (Y_{ProducciónAnual}((Producto\ Acabado\ (Packs))i))$$

.

Valor real que indica la producción semanal total de los productos acabados (*packs*):

$$Y_{ProducciónSemanalTotal} = Y_{ProducciónAnualTotal} / 52$$

.

Valor real que indica el gasto de producción semanal de productos acabados (*packs*):

* hay que realizar el sumatorio de todos los gastos de producción semanales de los 10 productos acabados (*packs*)

$$Y_{GastoProducciónSemanal} =$$

$$\sum_{i=1}^{10} (Y_{ProducciónAnual}((Producto\ Acabado\ (Packs))i) \cdot (Coste\ de\ Obtención)((Producto\ Acabado\ (Packs))i))$$

.

Valor real que indica el beneficio por ventas semanal de los productos acabados (*packs*):

* hay que realizar el sumatorio de todos los beneficios por ventas semanales de los 10 productos acabados (*packs*)

$$Y_{BeneficiosPorVentasSemanales} =$$

$$\sum_{i=1}^{10} (Y_{ProducciónAnual}((Producto\ Acabado\ (Packs))i) \cdot (Precio\ de\ Venta)((Producto\ Acabado\ (Packs))i))$$

FUNCIÓN OBJETIVO

Valor real la cual se quiere maximizar su valor:

$$MAX\ Z = MAX\ BeneficioTotal = Y_{BeneficiosPorVentasSemanales} - Y_{GastoProducciónSemanal}$$

SUJETO A RESTRICCIONES

RESTRICCIÓN DE NO NEGATIVIDAD

Cumplir con que todas las variables sean números reales positivos:

* para $i = 1, 2, 3, \dots, 10$, es decir, para cada una de las variables

[NO NEGATIVIDAD] \rightarrow

$$X_{UtilizaciónProductosAcabados}((Producto\ Acabado\ (Packs))i) \geq 0$$

PEDIDOS

RESTRICCIÓN R1

Cumplir con el mínimo de pedidos por Semana:

$$[R1] \rightarrow Y_{ProducciónSemanalTotal} \geq (\text{Pedidos por Semana})$$

$$[R1] \rightarrow Y_{ProducciónSemanalTotal} \leq 900$$

RESTRICCIÓN R2

Cumplir con el mínimo de packs de 1 Tarro de Miel de 0,5 kg:

$$[R2_{PARTE\ 1}] \rightarrow Y_{ProducciónAnual(\text{Miel Tarro 0,5 kg Pack 1})} \geq 1000$$

.....

Cumplir con el mínimo de packs de 1 Tarro de Polen de 200 g:

$$[R2_{PARTE\ 2}] \rightarrow Y_{ProducciónAnual(\text{Polen Tarro 200 g Pack 1})} \geq 1700$$

.....

Cumplir con el mínimo de packs de 1 Envase de Jalea de 25 g:

$$[R2_{PARTE\ 3}] \rightarrow Y_{ProducciónAnual(\text{Jalea Envase 25g Pack 1})} \geq 2000$$

.....

Cumplir con el mínimo de packs de 1 Envase de Propóleo de 30 ml:

$$[R2_{PARTE\ 4}] \rightarrow Y_{ProducciónAnual(\text{Propóleo Envase 30 ml Pack 1})} \geq 300$$

.....

Cumplir con el mínimo de packs de 12 Tarros de Miel de 0,5 kg:

$$[R2_{PARTE\ 5}] \rightarrow Y_{ProducciónAnual(\text{Miel Tarro 0,5 kg Pack 12})} \geq 1500$$

RESTRICCIÓN R3

Cumplir con que los porcentajes de utilización de los Tarros de Miel de 1 kg sume un 100%:

$$[R3_{PARTE\ 1}] \rightarrow$$

$$\left(X_{UtilizaciónProductosAcabados(\text{Miel Tarro 1 kg Pack 1})} + X_{UtilizaciónProductosAcabados(\text{Miel Tarro 1 kg Pack 12})} \right)$$

$$= 100\%$$

.....

Cumplir con que los porcentajes de utilización de los Tarros de Miel de 0,5 kg sume un 100%:

$[R3_{PARTE\ 2}] \rightarrow$

$$\left(X_{UtilizaciónProductosAcabados(Miel\ Tarro\ 0,5\ kg\ Pack\ 1)} + X_{UtilizaciónProductosAcabados(Miel\ Tarro\ 0,5\ kg\ Pack\ 12)} \right)$$

$$= 100\%$$

.....

Cumplir con que los porcentajes de utilización de los Tarros de Polen de 200 g sume un 100%:

$[R3_{PARTE\ 3}] \rightarrow$

$$\left(X_{UtilizaciónProductosAcabados(Polen\ Tarro\ 200\ g\ Pack\ 1)} + X_{UtilizaciónProductosAcabados(Polen\ Tarro\ 200\ g\ Pack\ 12)} \right)$$

$$= 100\%$$

.....

Cumplir con que los porcentajes de utilización de los Envases de Jalea de 25 g sume un 100%:

$[R3_{PARTE\ 4}] \rightarrow$

$$\left(X_{UtilizaciónProductosAcabados(Jalea\ Envase\ 25\ g\ Pack\ 1)} + X_{UtilizaciónProductosAcabados(Jalea\ Envase\ 25\ g\ Pack\ 24)} \right)$$

$$= 100\%$$

.....

Cumplir con que los porcentajes de utilización de los Envases de Propóleo de 30 ml sume un 100%:

$[R3_{PARTE\ 5}] \rightarrow$

$$\left(X_{UtilizaciónProductosAcabados(Propóleo\ Envase\ 30\ ml\ Pack\ 1)} + X_{UtilizaciónProductosAcabados(Propóleo\ Envase\ 30\ ml\ Pack\ 24)} \right)$$

$$= 100\%$$

2.2.5. MODELO EN EXCEL

2.2.5.1. DISPOSICIÓN DE LOS DATOS DEL MODELO

DATOS DE LA EMPRESA

A la hora de introducir el modelo en Excel, se ha iniciado distribuyendo la información referente a los datos de la empresa en cuatro categorías.

MATERIAS PRIMAS

En este apartado se han introducido los datos referentes a la cantidad de colmenas y las cantidades de materia prima producida anualmente por colmena.

Número de Colmenas	2000			
Materia Prima	Miel	Polen	Jalea	Propóleo
Unidad	kg	g	mg	ml
Cantidad / año (por colmena)	25	1500	1000	200

Tabla 5: Tabla de los datos de materia prima.

PRODUCTOS TERMINADOS

En este apartado se ha situado toda la información relativa a los productos terminados fabricados con la materia prima. Incluyendo el porcentaje en que se divide la miel entre los tarros de 1 kg y 0,5 kg.

Materia Prima	Miel		Polen	Jalea	Propóleo
Producto Acabado	Tarros 1kg	Tarros 0,5 kg	Tarros 200 g	Envases 25 g	Envases 30 ml
Utilización de la Materia Prima	60%	40%	100%	100%	100%
Unidad	kg	kg	g	mg	ml
Cantidad por Envase	1	0,5	200	25	30

Tabla 6: Tabla de los datos de productos terminados.

PRODUCTOS TERMINADOS (PACKS)

En este apartado se ha distribuido la información relativa a los productos terminados una vez estos han sido divididos para su venta individual o en *packs*. Se incluye el porcentaje de utilización inicial proporcionado por la empresa, al igual que las cantidades de producto de cada pack, el coste de obtención y el precio de venta de los productos.

Materia Prima	Miel			
Producto Acabado	Tarros 1 kg		Tarros 0,5 kg	
Producto Acabado (<i>packs</i>)	Pack 1	Pack 12	Pack 1	Pack 12
Utilización de los Productos Acabados	20%	80%	20%	80%
Cantidad de pack	1	12	1	12
Coste de Obtención	1,31 €	15,72 €	0,96 €	11,52 €
Precio de Venta	7,86 €	76,10 €	3,36 €	32,90 €

Tabla 7: Tabla de los datos de productos terminados (*packs*).

Materia Prima	Polen	
Producto Acabado	Tarros 200 g	
Producto Acabado (packs)	Pack 1	Pack 12
Utilización de los Productos Acabados	30%	70%
Cantidad de pack	1	12
Coste de Obtención	0,91 €	10,92 €
Precio de Venta	4,09 €	39,96 €

Tabla 8: Tabla de los datos de productos terminados (packs) – Parte 1.

Materia Prima	Jalea		Propóleo	
Producto Acabado	Envases 25 g		Envases 30 ml	
Producto Acabado (packs)	Pack 1	Pack 24	Pack 1	Pack 24
Utilización de los Productos Acabados	15%	85%	10%	90%
Cantidad de pack	1	24	1	24
Coste de Obtención	1,87 €	44,88 €	1,89 €	45,36 €
Precio de Venta	7,50 €	144,53 €	7,44 €	143,39 €

Tabla 9: Tabla de los datos de productos terminados (packs).

DATOS CALCULADOS

DATOS UTILIZADOS PARA CÁLCULOS POSTERIORES

Una vez situados los datos iniciales del modelo, se pueden obtener ciertos datos que serán de utilidad a lo largo del desarrollo del Excel.

- $Cantidad\ Anual\ Total\ X = Número\ de\ Colmenas * Cantidad\ Anual\ de\ X\ por\ Colmena$
 - Este dato hace referencia a la cantidad de materia prima X que se recolecta anualmente.

Materia Prima	Miel	Polen	Jalea	Propóleo
Unidad	kg	g	g	ml
Cantidad Anual Total	50000	3000000	2000000	400000

Tabla 10: Tabla de los datos calculados de las materias primas.

- $Producción\ Anual\ X = Cantidad\ Anual\ Total\ X * Utilización\ de\ Materia\ Prima\ X / Cantidad\ por\ Envase\ X$
 - Este dato hace referencia a la cantidad de envases que se producen anualmente del producto terminado X.

Materia Prima	Miel		Polen	Jalea	Propóleo
Producto Acabado	Tarros 1 kg	Tarros 0,5 kg	Tarros 200 g	Envases 25 g	Envases 30 ml
Producción Anual	30000,00	40000,00	15000,00	80000,00	13333,33

Tabla 11: Tabla de los datos calculados de los productos acabados.

DATOS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

Además, se aprovecha para examinar la situación actual de la empresa mediante el cálculo de la producción actual de la misma con los datos de porcentajes iniciales proporcionados.

Esto permite conocer la cantidad de pedidos y el beneficio asociado que tiene la empresa semanalmente en la actualidad, y comparar estos resultados posteriormente con lo obtenido tras el análisis del modelo y la adición de las restricciones pertinentes.

Cabe remarcar que, posteriormente, se volverán a emplear estos cálculos, sustituyendo el valor del porcentaje de utilización por la variable a calcular mediante *Solver*.

- $Producción\ Anual\ (packs)\ X = Producción\ Anual\ X * Utilización\ de\ Producto\ Acabado\ X / Cantidad\ de\ Pack\ X$
 - Este dato hace referencia a la cantidad de productos terminados (*packs*) X que se producen.

Materia Prima	Miel			
Producto Acabado	Tarros 1 kg		Tarros 0,5 kg	
Producto Acabado (<i>packs</i>)	Pack 1	Pack 12	Pack 1	Pack 12
Producción Anual	6000,00	2000,00	8000,00	2666,67

Tabla 12: Tabla de los datos iniciales calculados de los productos acabados (*packs*).

Materia Prima	Polen		Jalea		Propóleo	
Producto Acabado	Tarros 200 g		Envases 25 g		Envases 30 ml	
Producto Acabado (<i>packs</i>)	Pack 1	Pack 12	Pack 1	Pack 24	Pack 1	Pack 24
Producción Anual	4500,00	875,00	12000,00	2833,33	1333,33	500,00

Tabla 13: Tabla de los datos iniciales calculados de los productos acabados (*packs*).

- $Producción\ Anual\ Total = SUMA(Producciones\ Anuales\ (packs))$
 - Este dato hace referencia al total de productos terminados (*packs*) que se producen anualmente.
- $Producción\ Semanal\ Total = Producción\ Anual\ Total / 52$
 - Este dato hace referencia a la cantidad de productos terminados (*packs*) producidos semanalmente.
- $Gasto\ Producción\ Semanal = SUMAPRODUCTO(Producciones\ Anuales\ (packs); Costes\ de\ Obtención)$
 - Mediante “SUMARPRODUCTO” se multiplican uno a uno los valores de “Producción Anual (*packs*) X” de cada producto terminado con su correspondiente variable “Coste de Obtención X” y, posteriormente, se suman los valores obtenidos.
 - Es decir, se obtiene el coste semanal de producción de cada uno de los productos terminados (*packs*) y se suman para obtener el coste total.
- $Beneficio\ por\ Ventas\ Semanal = SUMAPRODUCTO(Producciones\ Anuales\ (packs); Precios\ de\ Venta)$

- Mediante “SUMARPRODUCTO” se multiplican uno a uno los valores de “Producción Anual (*packs*) X” de cada producto terminado con su correspondiente variable “Precio de Venta X” y, posteriormente, se suman los valores obtenidos.
- Es decir, se obtiene el beneficio por venta semanal de cada uno de los productos terminados (*packs*) y se suman para obtener el beneficio por venta total.
- $\text{Beneficio Semanal} = \text{Beneficio por Ventas Semanal} - \text{Gasto Producción Semanal}$
 - Este dato permite conocer el beneficio neto tras calcular la diferencia entre ingresos y costos semanales.

Producción Anual Total	40708
Producción Semanal Total	783
Gasto Producción Semanal	266.150,00 €
Beneficio por Ventas Semanal	948.460,00 €
Beneficio Semanal	682.310,00 €

Tabla 14: Tabla de los datos iniciales calculados a partir de los datos de la empresa.

VARIABLES

VARIABLES

Ya que la empresa busca conocer los porcentajes de utilización de los productos acabados a la hora de distribuirlos en productos de venta individual o *packs*, se establecen las variables que controlan este porcentaje como variables principales.

Materia Prima	Miel			
Producto Acabado	Tarros 1 kg		Tarros 0,5 kg	
Producto Acabado (<i>packs</i>)	Pack 1	Pack 12	Pack 1	Pack 12
Utilización de los Productos Acabados	?	?	?	?

Tabla 15: Tabla inicial de las variables principales – Parte 1.

Materia Prima	Polen		Jalea		Propóleo	
Producto Acabado	Tarros 200 g		Envases 25 g		Envases 30 ml	
Producto Acabado (<i>packs</i>)	Pack 1	Pack 12	Pack 1	Pack 24	Pack 1	Pack 24
Utilización de los Productos Acabados	?	?	?	?	?	?

Tabla 16: Tabla inicial de las variables principales – Parte 2.

SUBVARIABLES

Los cálculos de estas subvariables se realizan empleando las mismas fórmulas que en el apartado de “Datos Calculados - Datos de la Situación Actual de la Empresa”, difiriendo en el valor de “Producción Anual (*packs*) X” el cual ahora corresponde con el valor de las variables principales.

Materia Prima	Miel			
Producto Acabado	Tarros 1kg		Tarros 0,5 kg	
Producto Acabado (<i>packs</i>)	Pack 1	Pack 12	Pack 1	Pack 12
Producción Anual	?	?	?	?

Tabla 17: Tabla inicial de la producción anual de productos acabados (*packs*) – Parte 1.

Materia Prima	Polen		Jalea		Propóleo	
Producto Acabado	Tarros 200 g		Envases 25 g		Envases 30 ml	
Producto Acabado (<i>packs</i>)	Pack 1	Pack 12	Pack 1	Pack 24	Pack 1	Pack 24
Producción Anual	?	?	?	?	?	?

Tabla 18: Tabla inicial de la producción anual de productos acabados (*packs*) – Parte 2.

Producción Anual Total	?
Producción Semanal Total	?
Gasto Producción Semanal	?
Beneficio por Ventas Semanal	?

Tabla 19: Tabla inicial de las subvariables.

FUNCIÓN OBJETIVO

El objetivo de la empresa es maximizar sus ganancias, por tanto, la función objetivo se corresponde con el beneficio neto que esta obtiene tras tener en cuenta los gastos e ingresos.

- $F.O. = \text{Beneficio Total} = \text{Beneficio por Ventas Semanal} - \text{Gasto Producción Semanal}$

BENEFICIO TOTAL	?
------------------------	---

Tabla 20: Tabla inicial del resultado de la función objetivo.

RESTRICCIONES

PEDIDOS

La restricción R1 supone mantener un control del número de productos terminados (*packs*) que la empresa produce semanalmente. La empresa busca no superar los 900 pedidos.

- $\text{Producción Semanal Total} \leq 900$

R1			
Objetivo de pedidos	?	<=	900

Tabla 21: Tabla inicial de la restricción de pedidos.

PRODUCTOS TERMINADOS (PACKS)

La restricción R2 maneja las solicitudes semanales de los clientes, es decir, el mínimo de producción semanal que se debe realizar de cada producto.

- $\text{Producción Anual (Packs 1) 0,5 kg Miel} \geq 1000$

- *Producción Anual (Packs 1) Polen* ≥ 1700
- *Producción Anual (Packs 1) Jalea Real* ≥ 2000
- *Producción Anual (Packs 1) Propóleo* ≥ 300
- *Producción Anual (Packs 1) 1 kg Miel* ≥ 1500

R2			
Mínimo de <i>Packs</i> 1-0,5 kg miel (R2_1)	?	\geq	1000
Mínimo de <i>Packs</i> 1 polen (R2_2)	?	\geq	1700
Mínimo de <i>Packs</i> 1 jalea (R2_3)	?	\geq	2000
Mínimo de <i>Packs</i> 1 propóleo (R2_4)	?	\geq	300
Mínimo de <i>Packs</i> 12-1 kg miel (R2_5)	?	\geq	1500

Tabla 22: Tabla inicial de la restricción de productos terminados (*packs*) mínimos.

La restricción R3 comprueba que, en todos los casos, el porcentaje de utilización total de cada tipo de envase llegue al 100 %.

- *Producción Anual (Packs 1) 0,5 kg Miel* + *Producción Anual (Packs 12) 0,5 kg Miel* = 100 %
- *Producción Anual (Packs 1) 1 kg Miel* + *Producción Anual (Packs 12) 1 kg Miel* = 100 %
- *Producción Anual (Packs 1) Polen* + *Producción Anual (Packs 12) Polen* = 100 %
- *Producción Anual (Packs 1) Jalea Real* + *Producción Anual (Packs 24) Jalea Real* = 100 %
- *Producción Anual (Packs 1) Propóleo* + *Producción Anual (Packs 24) Propóleo* = 100 %

R3			
Pack 1 + Pack 12 (miel 1 kg) = 100%	?%	=	100%
Pack 1 + Pack 12 (miel 0,5 kg) = 100%	?%	=	100%
Pack 1 + Pack 12 (polen) = 100%	?%	=	100%
Pack 1 + Pack 24 (jalea real) = 100%	?%	=	100%
Pack 1 + Pack 24 (propóleo) = 100%	?%	=	100%

Tabla 23: Tabla inicial de la restricción de control de utilización de los productos.

2.2.5.2. USO DEL SOLVER

NECESIDAD DE MODIFICAR VARIABLES

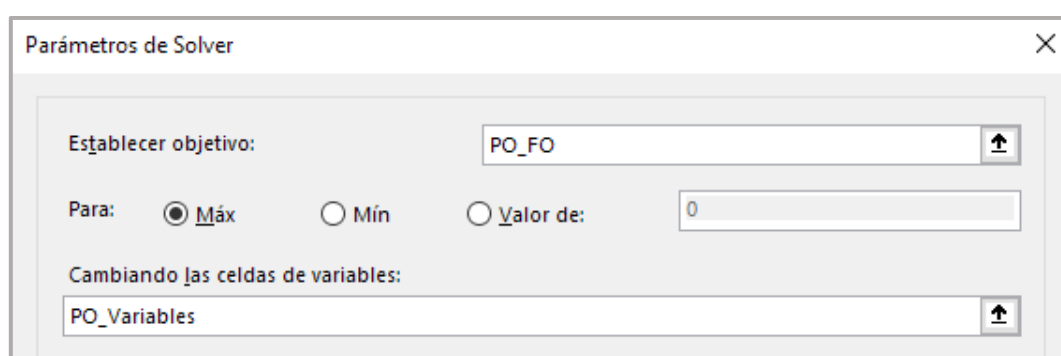
A la hora de emplear el *Solver*, se tuvo en cuenta que, inicialmente, la empresa lograba realizar 783 pedidos semanales. Debido a que esta es una empresa que, en un inicio, se estableció como de venta al por menor, se ha querido mantener un número de pedidos relativamente bajo, por lo que inicialmente se empleó como valor de la restricción R1 un valor de 800.

Aun así, al agregar las restricciones y ejecutar el *Solver*, este no encontraba ninguna solución viable. Por tanto, se aumentó el valor de la restricción a 900, valor con el que sí se obtenían soluciones viables y variadas incluso modificando el resto de las restricciones.

Además, para la realización del modelo de mejora de transporte, se barajaba el uso de valores similares, oscilando entre valores de 800 y 1100 pedidos por semana. Es por ello por lo que este valor de 900 se consideró adecuado para la restricción de pedidos, ya que permitía que el *Solver* encontrara soluciones teniendo en cuenta las restricciones establecidas en ambos modelos sin ser excesivamente limitativo.

CONFIGURACIÓN DEL SOLVER

A la hora de emplear el *Solver*, el primer paso ha sido definir mediante nombres de funciones las celdas que se van a introducir en él con el objetivo de conseguir una mayor claridad. El siguiente paso es establecer el objetivo y las celdas de variables a modificar, consultar Figura 1.



Parámetros de Solver

Establecer objetivo: PO_FO

Para: ☒ Máx ☐ Mín ☐ Valor de: 0

Cambiando las celdas de variables: PO_Variables

Figura 1: Objetivos y celdas variables del *Solver* (Porcentajes Óptimos).

A continuación, se deben establecer las restricciones que se tendrán en cuenta para el cálculo del valor de las variables. Para la resolución de este problema lineal, se debe seleccionar el método de resolución a *Simplex LP*, para así poder conseguir los resultados óptimos, consultar Figura 2.

Espacio en blanco dejado a propósito.

Sujeto a las restricciones:

PO_izquierda_R2_5 >= PO_derecha_R2_5
PO_izquierda_R1 <= PO_derecha_R1
PO_izquierda_R3 = PO_derecha_R3
PO_izquierda_R2_2 >= PO_derecha_R2_2
PO_izquierda_R2_3 >= PO_derecha_R2_3
PO_izquierda_R2_1 >= PO_derecha_R2_1
PO_izquierda_R2_4 >= PO_derecha_R2_4

Agrega
Cambia
Elimina
Restablecer todo
Cargar/Guardar

☒ Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución: Simplex LP Opciones

Método de resolución

Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

Ayuda Resolver Cerrar

Figura 2: Restricciones y método de resolución del Solver (Porcentajes Óptimos).

Los resultados obtenidos con el mismo se comentan en el apartado siguiente. Aun así, pueden observarse de forma más detenida en el Excel adjuntado a la tarea “Empresa Apicultora – Trabajo Bloque 2”. En este se puede consultar el *Listado de Nombres de Funciones* de la hoja “Porcentajes Óptimos” del Excel.

2.2.6. SOLUCIONES OBTENIDAS

Una vez realizados los cálculos mediante Excel, se obtienen los siguientes resultados:

Materia Prima	Miel			
Producto Acabado	Tarros 1 kg		Tarros 0,5 kg	
Producto Acabado (packs)	Pack 1	Pack 12	Pack 1	Pack 12
Utilización de los Productos Acabados	40%	60%	3%	98%
Producción Anual	12000,00	1500,00	1000,00	3250,00

Tabla 24: Tabla de las variables y subvariables calculadas con Solver – Parte 1.

Materia Prima	Polen	
Producto Acabado	Tarros 200 g	
Producto Acabado (packs)	Pack 1	Pack 12
Utilización de los Productos Acabados	11%	89%
Producción Anual	1700,00	1108,33

Tabla 25: Tabla de las variables y subvariables calculadas con Solver - Parte 2.

Materia Prima	Jalea		Propóleo	
Producto Acabado	Envases 25 g		Envases 30 ml	
Producto Acabado (<i>packs</i>)	Pack 1	Pack 24	Pack 1	Pack 24
Utilización de los Productos Acabados	29%	71%	2%	98%
Producción Anual	23024,64	2373,97	300,00	543,06

Tabla 26: Tabla de las variables y subvariables calculadas con *Solver* - Parte 3.

Esta configuración supone una producción anual de 46800 productos terminados (*packs*), lo que equivale en 900 pedidos semanales. Esta genera un beneficio neto de 965.892,90 € y cumple todas las condiciones establecidas por la empresa. A su vez, si se compara con la situación inicial de la empresa, se puede comprobar cómo, aun aumentando la cantidad de productos a vender por semana (de 783 a 900), se genera el mismo gasto (266.150,00 €) y; por tanto, se logra un mayor beneficio.

INFORME DE SENSIBILIDAD

Una vez ejecutado el *Solver* y generado el informe de sensibilidad, consultar Tabla 27, se puede obtener un entendimiento más profundo del problema planteado, y explorar cómo se podría aumentar el beneficio total.

Lo primero que se puede apreciar es que, en la restricción R1, que limita la producción semanal total a 900 productos (individuales y *packs*), el coste de oportunidad indica que incrementar este límite generaría un aumento del beneficio de 80,19 € por cada unidad adicional, esto indica que se trata de una restricción no vinculante, ya que el precio sombra o coste de oportunidad no es nulo. Sería beneficioso para la empresa considerar aumentar dicho límite de producción semanal a un máximo de 1050 productos si se quiere mantener la solución encontrada como la óptima. Si se decidiera aumentar a más de 1050 entonces sería necesario volver a resolver el modelo con el nuevo valor del coeficiente.

Por otra parte, las restricciones tipo R2 limitan la producción mínima de *packs* individuales de tarros de miel de 0,5 kg, *packs* individuales de tarros de polen, *packs* individuales de envases de jalea, *packs* individuales de envases de propóleo y *packs* de 12 tarros de miel de 1 kg. Dichas limitaciones suponen un coste de oportunidad negativo, por lo que al igual que las anteriores se trata de restricciones vinculantes, a excepción de los *packs* individuales de envases de jalea, que tiene un valor nulo, restricción no vinculante. Es decir, el hecho de disminuir la producción mínima de estos productos aumentaría el beneficio de la empresa. Esto supone que los siguientes productos aportan una mayor rentabilidad a la empresa: *packs* de 12 tarros de miel de 0,5 kg, *packs* de 12 tarros de polen, *packs* de 24 envases de jalea, *packs* de 12 envases de propóleo y *packs* individuales de tarros de miel de 1 kg.

El problema es que para cualquiera de los casos, ya se ha llegado al límite permisible de reducción, lo que implica que si se disminuyen los coeficientes, la solución encontrada ya no sería la óptima, y se tendría que resolver de nuevo el modelo.

Celdas Variables

Celda	Nombre	Valor Final	Coste Reducido	Objetivo Coeficiente	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
\$D\$59	Utilización de Productos Acabados (Miel Tarros 1 kg Pack 1)	0,40	0,00	196500,00	∞	3140,22
\$E\$59	Utilización de Productos Acabados (Miel Tarros 1 kg Pack 12)	0,60	0,00	150950,00	3140,22	∞
\$F\$59	Utilización de Productos Acabados (Miel Tarros 0.5 kg Pack 1)	0,03	0,00	96000,00	31813,04	∞
\$G\$59	Utilización de Productos Acabados (Miel Tarros 0.5 kg Pack 12)	0,98	0,00	71266,67	∞	31813,04
\$H\$59	Utilización de Productos Acabados (Polen Tarros 200 g Pack 1)	0,11	0,00	47700,00	9804,89	∞
\$I\$59	Utilización de Productos Acabados (Polen Tarros 200 g Pack 12)	0,89	0,00	36300,00	∞	9804,89
\$J\$59	Utilización de Productos Acabados (Jalea Envases 25 g Pack 1)	0,29	0,00	450400,00	8754,55	1000,00
\$K\$59	Utilización de Productos Acabados (Jalea Envases 25 g Pack 24)	0,71	0,00	332166,67	1000,00	8754,55
\$L\$59	Utilización de Productos Acabados (Propóleo Envases 30 ml Pack 1)	0,02	0,00	74000,00	166,67	∞
\$M\$59	Utilización de Productos Acabados (Propóleo Envases 30 ml Pack 24)	0,98	0,00	54461,11	∞	166,67

Restricciones

Celda	Nombre	Valor Final	Coste de Oportunidad	Restricción Lado derecho	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
\$D\$84	[R1] lado izquierdo	900,00	80,19	900,00	1050,03	387,47
\$D\$90	[R2_1] lado izquierdo (Packs 1 - 0,5 miel)	1000,00	-0,80	1000,00	21980,30	1000,00
\$D\$91	[R2_2] lado izquierdo (Packs 1 - polen)	1700,00	-0,65	1700,00	13300,00	1700,00
\$D\$92	[R2_3] lado izquierdo (Packs 1 - jalea)	23024,64	0,00	2000,00	21024,64	∞
\$D\$93	[R2_4] lado izquierdo (Packs 1 - propóleo)	300,00	-0,01	300,00	13033,33	300,00
\$D\$94	[R2_5] lado izquierdo (Packs 12 - 1 kg miel)	1500,00	-1,26	1500,00	1000,00	1500,00
\$D\$97	[R3_1] Pack 1 + Pack 12 (miel 1 kg) = 100%	1,00	150234,78	1,00	0,67	0,40
\$D\$98	[R3_2] Pack 1 + Pack 12 (miel 0,5 kg) = 100%	1,00	66126,09	1,00	6,04	0,98
\$D\$99	[R3_3] Pack 1 + Pack 12 (polen) = 100%	1,00	34372,28	1,00	16,12	0,89

* La tabla continúa en la siguiente página...

\$D\$100	[R3_4] Pack 1 + Pack 24 (jalea real) = 100%	1,00	327026,09	1,00	6,04	0,68
\$D\$101	[R3_5] Pack 1 + Pack 24 (propóleo) = 100%	1,00	53604,35	1,00	36,27	0,98

Tabla 27: Informe de sensibilidad.

3. MEJORA DEL TRANSPORTE

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

3.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

DATOS DE LA EMPRESA

PEDIDOS

La empresa tiene una demanda semanal relativamente estable a lo largo del año. Esto supone que, el número de pedidos que debe realizar no varíe mucho, siendo de aproximadamente 900¹ pedidos por semana. Cada uno de estos pedidos genera un beneficio medio de 10 €.

TRANSPORTE

Como se ha mencionado, la empresa cuenta con dos formas de transporte distintas para realizar los repartos de los pedidos: **furgonetas eléctricas** y **bicicletas eléctricas** de carga.

FURGONETAS ELÉCTRICAS

La empresa dispone de 2 furgonetas. Estas tienen una capacidad máxima de 30 pedidos por reparto. A su vez, la batería de la furgoneta permite realizar 10 repartos antes de necesitar una recarga. El coste de estas recargas es de 15€.

En la Figura 3 podemos ver estos datos de forma más esquemática.

BICICLETAS ELÉCTRICAS DE CARGA

La empresa dispone de 2 bicicletas. Estas tienen una capacidad máxima de 10 pedidos por reparto. A su vez, la batería de la bicicleta permite realizar 3 repartos antes de necesitar una recarga. El coste de estas recargas es de 2€.

En la Figura 4 podemos ver estos datos de forma más esquemática.

¹ Este valor se ha extraído de “Porcentajes Óptimos” tras comprobar cuál es el valor mínimo que permite realizar un manejo de datos adecuado y obtener una solución viable, teniendo en cuenta la escala de la empresa.



Figura 3: Características de las furgonetas.



Figura 4: Características de las bicicletas.

TRABAJADORES

CARACTERÍSTICAS

Por otra parte, la empresa cuenta actualmente con nueve posibles candidatos a los puestos de trabajo de repartidor. A continuación, en la Tabla 28, se muestran los distintos tipos de trabajador según su experiencia laboral.

Experiencia	Sueldo (€/hora)	Pedidos por día	
		Furgonetas	Bicicletas
Senior	15	4	3
Intermedio	11	3	2
Aprendiz	9	2	1

Tabla 28: Empleados según su experiencia laboral.

Además, los empleados podrán tener o no carné de conducir y saber o no ir en bicicleta.

Por último, cada empleado tendrá una jornada laboral distinta, con un mayor o menor número de días disponibles. Aun así, el horario se dividirá en dos turnos de 6 horas cada uno:

- Horario de mañanas: de 06:00 a 12:00.
- Horario de tardes: de 14:00 a 20:00.

CANDIDATOS

A continuación, en la Figura 5 y Figura 6 se muestran los distintos empleados que la empresa está considerando contratar.







 <p>Juan Pérez ★★★★★</p> <ul style="list-style-type: none"> Edad: 35 años Género: Hombre Carnet de Conducir: Sí Sabe Ir en Bicicleta: No Detalles del Contrato: <p>APRENDIZ</p> <p>MAÑANAS L M X J V S D</p>	 <p>María López ★★★★★</p> <ul style="list-style-type: none"> Edad: 28 años Género: Mujer Carnet de Conducir: No Sabe Ir en Bicicleta: Sí Detalles del Contrato: <p>SENIOR</p> <p>TARDES L M X J V S D</p>	 <p>Carlos García ★★★★★</p> <ul style="list-style-type: none"> Edad: 42 años Género: Hombre Carnet de Conducir: Sí Sabe Ir en Bicicleta: No Detalles del Contrato: <p>APRENDIZ</p> <p>TARDES L M X J V S D</p>
 <p>Ana Torres ★★★★★</p> <ul style="list-style-type: none"> Edad: 30 años Género: Femenino Carnet de Conducir: Sí Sabe Ir en Bicicleta: Sí Detalles del Contrato: <p>INTERMEDIO</p> <p>TARDES L M X J V S D</p>	 <p>Luis Fernández ★★★★★</p> <ul style="list-style-type: none"> Edad: 50 años Género: Hombre Carnet de Conducir: Sí Sabe Ir en Bicicleta: Sí Detalles del Contrato: <p>SENIOR</p> <p>MAÑANAS L M X J V S D</p>	 <p>Sofía Martínez ★★★★★</p> <ul style="list-style-type: none"> Edad: 19 años Género: Mujer Carnet de Conducir: Sí Sabe Ir en Bicicleta: No Detalles del Contrato: <p>INTERMEDIO</p> <p>TARDES L M X J V S D</p>

Figura 5: Candidatos de la empresa – Parte 1.

Espacio en blanco dejado a propósito.

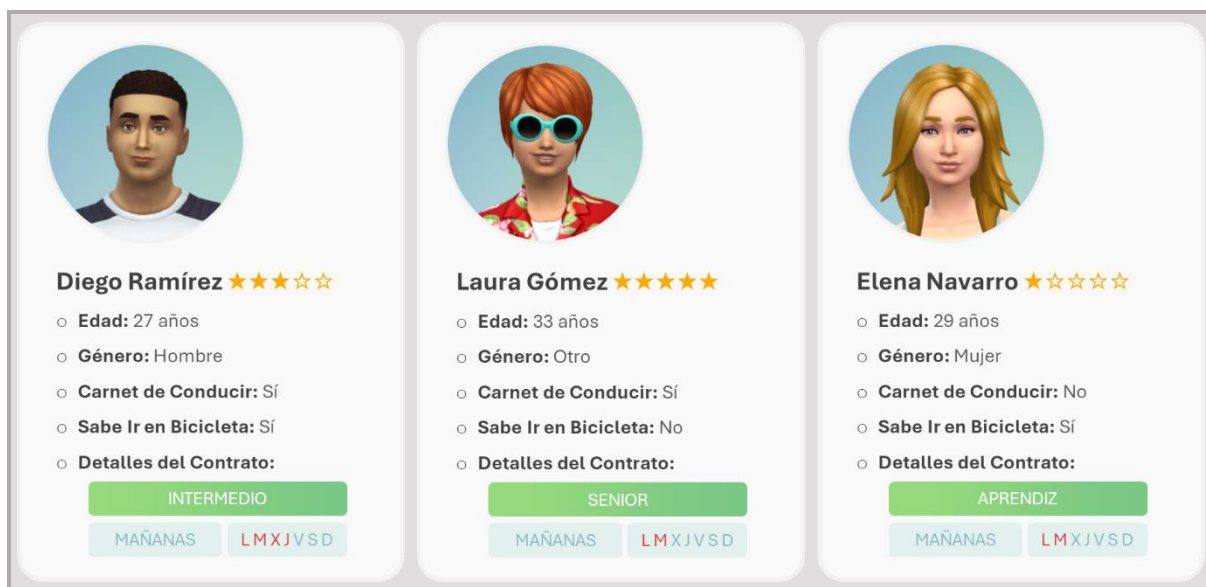


Figura 6: Candidatos de la empresa – Parte 2.

NECESIDADES DE LA EMPRESA

La empresa busca contratar a aquellos trabajadores que generen un mayor beneficio. Todo esto teniendo en cuenta las limitaciones de vehículos y los pedidos semanales.

Además, la empresa quiere contratar un máximo de cinco empleados, siendo mínimo dos de ellos aprendices. Asimismo, requiere que ningún aprendiz trabaje en solitario, es decir, que siempre tenga un superior trabajando en el mismo turno.

3.1.2. PROCEDENCIA DE LOS DATOS

Para la realización de esta parte de la tarea, se han empleado datos ficticios, por lo que no es necesario citar ni referenciar ninguna fuente. Por otra parte, cabe mencionar que todos los datos relacionados con los trabajadores y los métodos de transporte se pueden observar en el PowerPoint adjunto a la entrega “Datos del Modelo – Trabajo Bloque 2”.

3.2. MODELO INICIAL

3.2.1. VARIABLES

VARIABLES

A la hora de analizar todos los datos proporcionados por la empresa, se considera que las variables de mayor importancia y que condicionan el resto de los factores a tener en cuenta, son las que permiten conocer qué empleados han sido contratados o no. Estas variables podrán tener valor 1 o 0 (contratado o no contratado), es decir, serán binarias y no tendrán una unidad establecida.

Aun así, hay que tener en cuenta que los empleados pueden ser contratados como conductores de furgoneta o de bicicleta, pero no como ambos. Por tanto, estas variables principales se dividirán en dos variables dependiendo de si el trabajador ha sido contratado para conducir la furgoneta, la bicicleta o no ha sido contratado.

SUBVARIABLES

Otros factores que influyen a la hora de conocer los parámetros óptimos son los siguientes:

- **Número de recargas de las furgonetas y bicicletas:** Este dato se obtiene teniendo en cuenta que el trabajador siempre consume la misma cantidad de carga del vehículo independientemente de los repartos que deba realizar en ese día, es decir, durante su jornada laboral siempre se encuentra en movimiento. Será importante para el cálculo del coste de transporte, el cual depende del número de recargas a realizar.
- **Pedidos máximos que se pueden realizar por semana:** Este dato se obtiene teniendo en cuenta los pedidos máximos que cada repartidor puede realizar por semana. Aun así, no todos los repartos tienen porqué llegar a la carga máxima del vehículo, por lo que no se corresponde al valor real de pedidos realizados por semana (el cual es de 900 como se ha mencionado anteriormente). Conocer esta información permite saber si se satisfacen o no las necesidades semanales de repartos.
- **Número de trabajadores según la experiencia:** Esta información permite controlar algunas de las restricciones que se mencionarán más adelante a la vez que conocer el número máximo de empleados contratados.

3.2.2. FUNCIÓN OBJETIVO

FUNCIÓN OBJETIVO

La empresa busca optimizar el beneficio teniendo en cuenta tres factores:

- **Coste de transporte:** Coste de recarga de las baterías tanto de las bicicletas como de las furgonetas.
- **Coste laboral:** Coste de los sueldos de los empleados.
- **Beneficio por pedidos:** Teniendo en cuenta que cada pedido supone un beneficio de 10€ y que se realizan aproximadamente 900 pedidos por semana, este beneficio se considera como una constante.

Por tanto, la función objetivo será aquella que minimice los costes al máximo. Esta se calculará restandole al beneficio de los pedidos semanales el coste tanto laboral como de transporte semanales y se expresará en €/semana.

3.2.3. RESTRICCIONES

A la hora de realizar este modelo, la empresa plantea distintas restricciones y condiciones que deben cumplirse.

PEDIDOS

Conociendo que se realizan aproximadamente 900 pedidos por semana, la empresa requiere que, con los empleados que se contraten, sea posible llegar a este mínimo. Aun así, que los trabajadores puedan realizar más pedidos, no supondrá ningún problema.

TRANSPORTE

También es necesario tener en cuenta que no se superen el máximo de furgonetas y bicicletas disponibles en cada turno (1 furgoneta y 2 bicicletas), es decir, que no se tengan más furgonetas o bicicletas en uso que en disposición.

Los vehículos pueden recargarse entre turnos, lo que supone que, aunque se emplee un vehículo en el turno de mañanas, este pueda volver a utilizarse en el turno de tardes sin problemas. Por tanto, en un mismo día puede llegar a emplearse la furgoneta 2 veces mientras no sea en un mismo turno.

TRABAJADORES

La empresa, a la hora de contratar a candidatos, plantea las siguientes restricciones:

- Desean contratar un máximo de 5 empleados.
- Máximo, se quiere contratar a 2 trabajadores senior.
- Mínimo, se debe contratar a 2 trabajadores aprendices.
- En caso de haber un aprendiz, es necesario que haya un superior en el mismo turno que pueda ejercer de mentor o ayudar al aprendiz en aquello que este necesite.

Además, una vez contratados para realizar el transporte por bicicleta o furgoneta, los trabajadores no podrán emplear el otro medio de transporte.

Por último, se deberá controlar que el personal contratado tenga el carné o sepa ir en bicicleta para poder conducir la furgoneta o la bicicleta respectivamente.

3.2.4. MODELO COMPLETO

En este apartado se detalla todo el modelo, expresando de forma matemática las variables, la función objetivo y las restricciones a las que está sujeto.

VARIABLES

VARIABLES

Variable binaria que indica si se contrata a la persona para conducir la furgoneta:

$X_{JuanConduceFurgoneta}$
 $X_{MaríaConduceFurgoneta}$
 $X_{CarlosConduceFurgoneta}$
 $X_{AnaConduceFurgoneta}$
 $X_{LuisConduceFurgoneta}$
 $X_{SofíaConduceFurgoneta}$
 $X_{DiegoConduceFurgoneta}$
 $X_{LauraConduceFurgoneta}$
 $X_{ElenaConduceFurgoneta}$

Variable binaria que indica si se contrata a la persona para conducir la bicicleta:

$X_{JuanConduceBicicleta}$
 $X_{MaríaConduceBicicleta}$
 $X_{CarlosConduceBicicleta}$
 $X_{AnaConduceBicicleta}$
 $X_{LuisConduceBicicleta}$
 $X_{SofíaConduceBicicleta}$
 $X_{DiegoConduceBicicleta}$
 $X_{LauraConduceBicicleta}$
 $X_{ElenaConduceBicicleta}$

Valor binario que indica si se contrata a la persona:

$$\begin{aligned}
 X_{i\text{Contratado}} &= X_{i\text{ConduceFurgoneta}} \cdot (\text{Tiene Carné})_i + X_{i\text{ConduceBicicleta}} \cdot (\text{Sabe ir en Bicicleta})_i \\
 X_{\text{JuanContratado}} &= X_{\text{JuanConduceFurgoneta}} \cdot 1 + X_{\text{JuanConduceBicicleta}} \cdot 0 \\
 X_{\text{MaríaContratada}} &= X_{\text{MaríaConduceFurgoneta}} \cdot 0 + X_{\text{MaríaConduceBicicleta}} \cdot 1 \\
 X_{\text{CarlosContratado}} &= X_{\text{CarlosConduceFurgoneta}} \cdot 1 + X_{\text{CarlosConduceBicicleta}} \cdot 0 \\
 X_{\text{AnaContratada}} &= X_{\text{AnaConduceFurgoneta}} \cdot 1 + X_{\text{AnaConduceBicicleta}} \cdot 1 \\
 X_{\text{LuisContratado}} &= X_{\text{LuisConduceFurgoneta}} \cdot 1 + X_{\text{LuisConduceBicicleta}} \cdot 1 \\
 X_{\text{SofíaContratada}} &= X_{\text{SofíaConduceFurgoneta}} \cdot 1 + X_{\text{SofíaConduceBicicleta}} \cdot 0 \\
 X_{\text{DiegoContratado}} &= X_{\text{DiegoConduceFurgoneta}} \cdot 1 + X_{\text{DiegoConduceBicicleta}} \cdot 1 \\
 X_{\text{LauraContratada}} &= X_{\text{LauraConduceFurgoneta}} \cdot 1 + X_{\text{LauraConduceBicicleta}} \cdot 0 \\
 X_{\text{ElenaContratada}} &= X_{\text{ElenaConduceFurgoneta}} \cdot 0 + X_{\text{ElenaConduceBicicleta}} \cdot 1
 \end{aligned}$$

SUBVARIABLES

NÚMERO DE RECARGAS

Valor real que indica el número de recargas de batería de furgoneta necesarias:

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{NumRecargasFurgoneta}} &= \frac{\sum_{i=1}^9 ((\text{Entregas Furgoneta por Semana})_i \cdot X_{i\text{ConduceFurgoneta}})}{(\text{Entregas por Día en Furgoneta})} \\
 Y_{\text{NumRecargasFurgoneta}} &= \frac{\sum_{i=1}^9 ((\text{Entregas Furgoneta por Semana})_i \cdot X_{i\text{ConduceFurgoneta}})}{10}
 \end{aligned}$$

.....

Valor real que indica el número de recargas de batería de bicicleta necesarias:

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{NumRecargasBicicleta}} &= \frac{\sum_{i=1}^9 ((\text{Entregas Bicicleta por Semana})_i \cdot X_{i\text{ConduceBicicleta}})}{(\text{Entregas por Día en Furgoneta})} \\
 Y_{\text{NumRecargasBicicleta}} &= \frac{\sum_{i=1}^9 ((\text{Entregas Bicicleta por Semana})_i \cdot X_{i\text{ConduceBicicleta}})}{3}
 \end{aligned}$$

PEDIDOS MÁXIMOS SEMANALES

Valor entero que indica el número de pedidos repartidos totales con furgoneta:

$$Y_{\text{PedidosFurgonetaTotales}} = \sum_{i=1}^9 ((\text{Pedidos Furgoneta por semana})_i \cdot X_{i\text{ConduceFurgoneta}})$$

.....

Valor entero que indica el número de pedidos repartidos totales con bicicleta:

$$Y_{\text{PedidosBicicletaTotales}} = \sum_{i=1}^9 ((\text{Pedidos Bicicleta por semana})_i \cdot X_{i\text{ConduceBicicleta}})$$

.....

Valor entero que indica el número de pedidos repartidos totales con bicicleta:

$$Y_{\text{PedidosMáximosPorSemana}} = Y_{\text{PedidosFurgonetaTotales}} + Y_{\text{PedidosBicicletaTotales}}$$

NÚMERO DE TRABAJADORES

Valor entero que indica el número trabajadores Senior:

$$Y_{NumTrabajadoresSenior} = \sum_{i=1}^9 (\delta((Experiencia\ Trabajador)_i = Senior) \cdot X_{iContratado})$$

* la función delta vale 1 si la experiencia del trabajador (i) es "Senior" y 0 en caso contrario.

.....

Valor entero que indica el número trabajadores Intermedio:

$$Y_{NumTrabajadoresIntermedio} = \sum_{i=1}^9 (\delta((Experiencia\ Trabajador)_i = Intermedio) \cdot X_{iContratado})$$

* la función delta vale 1 si la experiencia del trabajador (i) es "Intermedio" y 0 en caso contrario.

.....

Valor entero que indica el número trabajadores Aprendiz:

$$Y_{NumTrabajadoresAprendiz} = \sum_{i=1}^9 (\delta((Experiencia\ Trabajador)_i = Aprendiz) \cdot X_{iContratado})$$

* la función delta vale 1 si la experiencia del trabajador (i) es "Aprendiz" y 0 en caso contrario.

FUNCIÓN OBJETIVO

Valor real que indica coste total de recargar las baterías de las furgonetas y de las bicicletas:

$$\begin{aligned} & CosteRecargaBaterías \\ &= (Y_{NumRecargasFurgoneta} \cdot (Coste\ Recarga\ Batería\ Furgonetas)) \\ &+ (Y_{NumRecargasBicicleta} \cdot (Coste\ Recarga\ Batería\ Bicicleta)) \\ CosteRecargaBaterías &= (Y_{NumRecargasFurgoneta} \cdot 15) + (Y_{NumRecargasBicicleta} \cdot 2) \end{aligned}$$

.....

Valor real que indica el coste total por los sueldos de los trabajadores contratados:

$$CosteSueldos = \sum_{i=1}^9 ((Sueldo\ por\ Semana)_i \cdot X_{iContratado})$$

.....

Valor real que indica el beneficio total por las ventas esperadas:

$$BeneficioPorVentas = (BeneficioPorSemana) = 9000 \text{ €}$$

.....

Valor real la cual se quiere maximizar su valor:

$$\begin{aligned} & MAX\ Z = MAX\ BeneficioTotal \\ &= BeneficioPorVentas - (CosteRecargaBaterías + CosteSueldos) \end{aligned}$$

SUJETO A RESTRICCIONES

RESTRICCIÓN DE PROGRAMACIÓN BINARIA

Cumplir con que todas las variables sean números binarios:
* para $i = 1, 2, 3, \dots, 9$, es decir, para cada uno de los trabajadores

$$[PROGRAMACIÓN\ BINARIA] \rightarrow$$

$$X_{iConduceFurgoneta} \in \{0,1\}, \forall i$$

$$X_{iConduceBicicleta} \in \{0,1\}, \forall i$$

PEDIDOS

RESTRICCIÓN R1

Cumplir con el mínimo de pedidos por Semana:

$$[R1] \rightarrow Y_{PedidosMáximosPorSemana} \geq (Pedidos\ por\ Semana)$$

$$[R1] \rightarrow Y_{PedidosMáximosPorSemana} \geq 900$$

TRANSPORTE

RESTRICCIÓN R2_PARTE1

Controlar que no se supere el máximo de Furgonetas (por turno):

* hay que realizar un total de $(2 \cdot 7 = 14)$ restricciones, una por cada turno

$$[R2_{PARTE1}] \rightarrow \left(\sum_{i=1}^9 ((Trabaja\ Día\ X\ Turno\ Y)_i \cdot X_{iConduceFurgoneta}) \right) \leq (Cantidad\ Furgonetas)$$

$$[R2_{PARTE1}] \rightarrow \left(\sum_{i=1}^9 ((Trabaja\ Día\ X\ Turno\ Y)_i \cdot X_{iConduceFurgoneta}) \right) \leq 1$$

RESTRICCIÓN R2_PARTE2

Controlar que no se supere el máximo de Bicicletas (por turno):

* hay que realizar un total de $(2 \cdot 7 = 14)$ restricciones, una por cada turno

$$[R2_{PARTE2}] \rightarrow \left(\sum_{i=1}^9 ((Trabaja\ Día\ X\ Turno\ Y)_i \cdot X_{iConduceBicicletas}) \right) \leq (Cantidad\ Bicicletas)$$

$$[R2_{PARTE2}] \rightarrow \left(\sum_{i=1}^9 ((Trabaja\ Día\ X\ Turno\ Y)_i \cdot X_{iConduceBicicleta}) \right) \leq 2$$

TRABAJADORES

RESTRICCIÓN R3_PARTE1

Controlar que no se supere el máximo de Trabajadores Permitidos:

$$[R3_{PARTE1}] \rightarrow Y_{NumTrabajadoresSenior} + Y_{NumTrabajadoresIntermedio} + Y_{NumTrabajadoresAprendiz} \leq (\text{Máximo de Trabajadores})$$

$$[R3_{PARTE1}] \rightarrow Y_{NumTrabajadoresSenior} + Y_{NumTrabajadoresIntermedio} + Y_{NumTrabajadoresAprendiz} \leq 5$$

RESTRICCIÓN R3_PARTE2

Controlar que no se supere el máximo de Trabajadores Senior Permitidos:

$$[R3_{PARTE2}] \rightarrow Y_{NumTrabajadoresSenior} \leq (\text{Máximo de Trabajadores Senior})$$

$$[R3_{PARTE2}] = Y_{NumTrabajadoresIntermedio} \leq 2$$

.....

Controlar que haya como mínimo 2 Trabajadores Aprendices:

$$[R3_{PARTE2}] \rightarrow Y_{NumTrabajadoresAprendices} \geq (\text{Mínimo de Trabajadores Aprendices})$$

$$[R3_{PARTE2}] = Y_{NumTrabajadoresAprendices} \geq 2$$

RESTRICCIÓN R4

Controlar que mínimo haya un Superior en caso de tener un Aprendiz (por turno):

* hay que realizar un total de $(2 \cdot 7 = 14)$ restricciones, una por cada turno

$$[R4] \rightarrow$$

$$\left(\sum_{i=1}^9 ((\text{Trabaja Día X Turno } Y)_i \cdot \delta((\text{Experiencia Trabajador})_i = \text{Aprendiz})) \cdot \delta(X_{i\text{Contratado}} = Si) \right)$$

\leq

$$\left(\sum_{i=1}^9 ((\text{Trabaja Día X Turno } Y)_i \cdot \delta((\text{Experiencia Trabajador})_i > \text{Aprendiz})) \cdot \delta(X_{i\text{Contratado}} = Si) \right)$$

RESTRICCIÓN R5

Controlar que los trabajadores no conduzcan furgoneta y bicicleta al mismo tiempo:

* hay que realizar un total de 9 restricciones, una por cada trabajador

$$[R5] \rightarrow X_{i\text{Contratado}} \leq (\text{Máximo de Contrataciones por Trabajador})$$

$$[R5] \rightarrow X_{i\text{Contratado}} \leq 1$$

RESTRICCIÓN R6

Controlar que los trabajadores no conduzcan furgoneta si no tienen carné:

* hay que realizar un total de 9 restricciones, una por cada trabajador

$$[R6] \rightarrow X_{i\text{ConduceFurgoneta}} \leq (\text{Tiene carné})_i$$

RESTRICCIÓN R7

Controlar que los trabajadores no conduzcan bicicleta si no saben:

* hay que realizar un total de 9 restricciones, una por cada trabajador

$$[R7] \rightarrow X_{i\text{ConduceBicicleta}} \leq (\text{Sabe ir en Bicicleta})_i$$

3.2.5. MODELO EN EXCEL

3.2.5.1. DISPOSICIÓN DE LOS DATOS DEL MODELO

DATOS DE LA EMPRESA

A la hora de introducir el modelo en Excel, se ha iniciado distribuyendo la información referente a los datos de la empresa en cuatro categorías.

PEDIDOS

En este apartado se han introducido los datos referentes a los pedidos que se realizan semanalmente y el beneficio que estos suponen.

Pedidos/semana	900
Beneficio/pedido (€)	10

Tabla 29: Tabla de los datos de los pedidos.

A su vez, se ha realizado el cálculo del beneficio semanal de realizar estos envíos mediante la siguiente función:

$$\text{Beneficio por semana} = \text{Pedidos por semana} * \text{Beneficio por pedido} = 900 \times 10 = 9000$$

Beneficio/semana (€)	9000
----------------------	------

Tabla 30: Cálculo del beneficio semanal.

TRANSPORTE

En este apartado se ha situado toda la información tanto de las furgonetas como de las bicicletas.

Vehículo	Furgonetas Eléctricas	Bicicletas Eléctricas
Cantidad	1	2
Capacidad Máxima	30	10
Entregas/batería	10	3
Coste Recarga Batería (€)	15	2

Tabla 31: Tabla de los datos de los vehículos.

TRABAJADORES

En este apartado se colocan todos los datos que hacen referencia a los trabajadores.

EXPERIENCIA LABORAL

Primero se sitúa la información sobre las características de cada usuario dependiendo de su experiencia.

Experiencia	Senior	Intermedio	Aprendiz
Sueldo/hora (€)	15	11	9
Entregas/día Furgoneta	4	3	2
Entregas/día Bicicleta	3	2	1

Tabla 32: Tabla de los datos según la experiencia.

OTROS

A continuación, se crea un dato que indica las horas que supone cada turno de trabajo.

Horas/día	6
-----------	---

Tabla 33: Horas de trabajo por día.

También se genera una tabla que establece una relación entre Sí y 1, y No y 0 mediante el uso de etiquetas de nombre. Esto permite un manejo de los datos en Excel más cómodo a la hora de establecer valores como “Carné de Conducir” como “Sí/No” en vez de como “1/0”.

Sí	1
No	0

Tabla 34: Relación entre 1-Sí y 0-No.

CANDIDATOS

La información referente a la experiencia y los vehículos que puede emplear cada trabajador se coloca en una tabla. Esta puede observarse en la Tabla 35.

Nombre	Juan	María	Carlos	Ana	Luis	Sofía	Diego	Laura	Elena
Experiencia	Aprendiz	Senior	Aprendiz	Interm.	Senior	Interm.	Interm.	Senior	Aprendiz
Carné de Conducir	1	0	1	1	1	1	1	1	0
Sabe ir en Bicicleta	0	1	0	1	1	0	1	0	1

Tabla 35: Tabla de los datos de los candidatos.

HORARIOS

Por último, se realiza una nueva tabla, esta vez con los horarios de cada uno de los candidatos. En esta se sitúa un 1 en aquellos turnos en que el empleado puede trabajar.

Nombre		Juan	María	Carlos	Ana	Luis	Sofía	Diego	Laura	Elena
Lunes	(06:00 - 12:00)	1				1				
	(14:00 - 20:00)		1	1	1					
Martes	(06:00 - 12:00)	1				1				
	(14:00 - 20:00)		1	1	1					
Miércoles	(06:00 - 12:00)	1				1			1	1
	(14:00 - 20:00)		1	1	1					
Jueves	(06:00 - 12:00)	1				1			1	1
	(14:00 - 20:00)		1	1	1					
Viernes	(06:00 - 12:00)	1				1		1	1	1
	(14:00 - 20:00)		1	1	1					
Sábado	(06:00 - 12:00)							1	1	1
	(14:00 - 20:00)						1			
Domingo	(06:00 - 12:00)							1	1	1
	(14:00 - 20:00)						1			

Tabla 36: Tabla de los horarios de los candidatos.

DATOS CALCULADOS

Una vez situados los datos iniciales del modelo, se pueden obtener ciertos datos que serán de utilidad a lo largo del desarrollo del Excel.

- $Jornada\ laboral\ X = SUMA(Días\ de\ trabajo\ X) * Horas/día$
 - “Días de trabajo X” hace referencia al horario laboral del trabajador X. Al realizar el sumatorio, se suman tanto los valores vacíos (0) como los 1 colocados en la columna del empleado X en el horario.
 - Este dato hace referencia al número de horas que trabajaría semanalmente cada trabajador en caso de ser contratado.
- $Sueldo\ X = Jornada\ laboral\ X * SUMAR.SI(Experiencias; Experiencia\ X; Sueldos)$
 - Mediante “SUMAR.SI” se busca dentro del rango “Experiencias” aquella que se corresponda con la del trabajador X (“Experiencia X”). Una vez encontrada, se analiza dentro del rango “Sueldos” aquel que se corresponda con la experiencia del empleado. Es decir, de esta fórmula se extrae el sueldo que corresponde con la experiencia del trabajador X.
 - Este dato hace referencia al sueldo semanal de cada trabajador según su jornada laboral y experiencia en caso de ser contratado.
- $Entregas\ Furgoneta\ por\ semana\ X = SUMA(Días\ de\ trabajo\ X) * SUMAR.SI(Experiencias; Experiencia\ X; Entregas\ por\ día\ en\ furgoneta) * Carné\ de\ Conducir\ X)$
 - Mediante “SUMAR.SI” se busca dentro del rango “Experiencias” aquella que se corresponda con la del trabajador X. Una vez encontrado, se analiza dentro del rango de “Entregas por día en furgoneta” aquel que se corresponda con la experiencia del

empleado. Es decir, de esta fórmula se extrae el número de entregas por días en furgoneta que corresponde con la experiencia del trabajador X.

- Este dato hace referencia al número de entregas en furgoneta semanal de cada trabajador según su jornada laboral y experiencia en caso de ser contratado. Si no tiene carné de conducir, se multiplica el resultado por cero.
- $Pedidos\ Furgoneta\ por\ semana\ X = Entregas\ Furgoneta\ por\ Semana\ X * Capacidad\ Máxima\ Furgonetas$
 - Este dato hace referencia al número máximo de pedidos que puede llegar a repartir el trabajador X en furgoneta en caso de ser contratado.
- $Entregas\ Bicicleta\ por\ semana\ X = SUMA(Días\ de\ trabajo\ X) * SUMAR.SI(Experiencias; Experiencia\ X; Entregas\ por\ día\ en\ bicicleta) * Sabe\ ir\ en\ Bicicleta\ X)$
 - Mediante “SUMAR.SI” se busca dentro del rango “Experiencias” aquella que se corresponda con la del trabajador X. Una vez encontrado, se analiza dentro del rango de “Entregas por día en bicicleta” aquel que se corresponda con la experiencia del empleado. Es decir, de esta fórmula se extrae el número de entregas por días en bicicleta que corresponde con la experiencia del trabajador X.
 - Este dato hace referencia al número de entregas en bicicleta semanal de cada trabajador según su jornada laboral y experiencia en caso de ser contratado. Si no sabe ir en bicicleta, se multiplica el resultado por cero.
- $Pedidos\ Bicicleta\ por\ semana\ X = Entregas\ Bicicleta\ por\ Semana\ X * Capacidad\ Máxima\ Bicicletas$
 - Este dato hace referencia al número máximo de pedidos que puede llegar a repartir el trabajador X en bicicleta en caso de ser contratado.

Nombre	Juan	María	Carlos	Ana	Luis	Sofía	Diego	Laura	Elena
Jornada laboral (h/semana)	30	30	30	30	30	12	18	30	30
Sueldo (€/semana)	270	450	270	330	450	132	198	450	270
Entregas Furgoneta x Semana	10	0	10	15	20	6	9	20	0
Pedidos Furgoneta x Semana	300	0	300	450	600	180	270	600	0
Entregas Bicicleta x Semana	0	15	0	10	15	0	6	0	5
Pedidos Bicicleta x Semana	0	150	0	100	150	0	60	0	50

Tabla 37: Tabla de los datos calculados a partir de los datos de la empresa.

VARIABLES

VARIABLES

Ya que los trabajadores pueden emplear tanto furgoneta como bicicleta, la variable principal, como se ha mencionado, se dividirá en dos variables binarias (“Conduce Furgoneta” y “Conduce Bicicleta”). Los valores de estas se obtendrán empleando el *Solver*, por lo que serán casillas vacías inicialmente en Excel.

Por último, se establece una variable “¿Contratado?” que se calculará como la suma de las dos variables binarias, teniendo en cuenta si sabe conducir o ir en bicicleta o no.

$$\text{¿Contratado } X = \text{Conduce Furgoneta } X * \text{Carné de Conducir } X + \text{Conduce Bicicleta } X * \text{Sabe ir en Bicicleta } X$$

Nombre	Juan	María	Carlos	Ana	Luis	Sofía	Diego	Laura	Elena
Conduce Furgoneta	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Conduce Bicicleta	?	?	?	?	?	?	?	?	?
¿Contratado?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

Tabla 38: Tabla inicial de las variables principales.

SUBVARIABLES

Una vez definidas las variables principales, se pueden calcular ciertos datos basados en estas que serán de utilidad tanto para el cálculo de la función objetivo como para el de las restricciones.

NÚMERO DE RECARGAS

Como se ha comentado anteriormente, se establece que el trabajador consume la misma cantidad de carga en todos sus turnos. Esta variable es necesaria posteriormente en el cálculo del coste de recargar las baterías usado en la función objetivo.

- $N^{\circ} \text{ Recargas Furgoneta} = \frac{\text{SUMAPRODUCTO}(\text{Entregas Furgoneta por semana}; \text{Conduce Furgoneta})}{\text{Entregas por día en furgoneta}}$
 - Mediante “SUMAPRODUCTO” se multiplican uno a uno los valores de “Entregas Furgoneta por semana” de cada empleado con su correspondiente variable “Conduce Furgoneta” y, posteriormente, se suman los valores obtenidos. Con esto se logra que, en caso de no haber sido contratado como conductor de furgoneta, el valor al multiplicarlo sea de 0.
 - Por tanto, esta variable suma inicialmente el número de entregas semanales en furgoneta que hace cada uno de los empleados contratados como conductores de furgoneta para posteriormente dividirlo entre el número de entregas que se pueden realizar antes de necesitar una recarga.
- $N^{\circ} \text{ Recargas Bicicleta} = \frac{\text{SUMAPRODUCTO}(\text{Entregas Bicicleta por semana}; \text{Conduce Bicicleta})}{\text{Entregas por día en bicicleta}}$
 - Mediante “SUMAPRODUCTO” se multiplican uno a uno los valores de “Entregas Bicicleta por semana” de cada empleado con su correspondiente variable “Conduce Bicicleta” y, posteriormente, se suman los valores obtenidos. Con esto se logra que, en caso de no haber sido contratado como conductor de furgoneta, el valor al multiplicarlo sea de 0.
 - Por tanto, esta variable suma inicialmente el número de entregas semanales en bicicleta que hace cada uno de los empleados contratados como conductores de bicicleta para posteriormente dividirlo entre el número de entregas que se pueden realizar antes de necesitar una recarga.

Nº Recargas Furgoneta	?
Nº Recargas Bicicleta	?

Tabla 39: Tabla inicial del número de recargas de cada vehículo.

PEDIDOS MÁXIMOS SEMANALES

Como se ha mencionado en apartados anteriores, la empresa requiere que los trabajadores puedan realizar, como mínimo, 900 pedidos por semana. Por tanto, es necesario tener una variable que permita contar cuántos pedidos podrían llegar a realizar los empleados contratados. Esta variable se empleará posteriormente en una de las restricciones.

- *Pedidos Furgoneta Totales* =
SUMAPRODUCTO(Conduce Furgoneta; Pedidos Furgoneta por semana)
 - Mediante “SUMAPRODUCTO” se multiplican uno a uno los valores de “Pedidos Furgoneta por semana” de cada empleado con su correspondiente variable “Conduce Furgoneta” y, posteriormente, se suman los valores obtenidos.
 - Por tanto, esta variable suma el número de pedidos semanales en furgoneta que hace cada uno de los empleados contratados como conductores de furgoneta.
- *Pedidos Bicicleta Totales* =
SUMAPRODUCTO(Conduce Bicicleta ; Pedidos Bicicleta por semana)
 - Mediante “SUMAPRODUCTO” se multiplican uno a uno los valores de “Pedidos Bicicleta por semana” de cada empleado con su correspondiente variable “Conduce Bicicleta” y, posteriormente, se suman los valores obtenidos.
 - Por tanto, esta variable suma el número de pedidos semanales en bicicleta que hace cada uno de los empleados contratados como conductores de bicicleta.
- *Pedidos Máximos por Semana* =
SUMA(Pedidos Furgoneta Totales; Pedidos Bicicleta Totales)
 - Esta variable suma el número total de pedidos que pueden realizar los trabajadores contratados tanto en furgoneta como en bicicleta. Por tanto, muestra el máximo de pedidos que se podrían llegar a realizar por semana.

Pedidos Furgoneta Totales	?
Pedidos Bicicleta Totales	?
Pedidos Máximos por Semana	?

Tabla 40: Tabla inicial del número de pedidos máximos semanales.

NÚMERO DE TRABAJADORES

Otra de las condiciones de la empresa supone mantener un control del mínimo de aprendices y el máximo de seniors. Por tanto, es necesario tener una variable que permita conocer estos valores para poder establecer las restricciones correspondientes.

- *Nº de Trabajadores Y* = *SUMAR.SI(Experiencia; Y; ¿Contratado?)*
 - Mediante “SUMAR.SI” se busca dentro del rango “Experiencias” aquellas que se correspondan con el tipo de experiencia “Y” (Senior, Intermedio o Aprendiz). Una vez

encontrado, se analiza dentro del rango de “¿Contratado?” aquellos trabajadores que tengan el tipo de experiencia Y.

- Es decir, de esta fórmula se extrae el número de trabajadores contratados con el tipo de experiencia deseado.

Experiencia	Seniors	Intermedios	Aprendices
Nº de Trabajadores	?	?	?

Tabla 41: Tabla inicial del número de trabajadores contratados según su experiencia.

FUNCIÓN OBJETIVO

La empresa busca maximizar el beneficio total teniendo en cuenta para su cálculo los costes de transporte (recarga de baterías), los costes laborales (sueldos) y el beneficio obtenido por entrega.

Para el cálculo de la función objetivo será necesario entonces realizar un cálculo previo de los costes y beneficios que tiene la empresa.

- $\text{Coste Recarga Baterías} = \text{SUMA}(\text{Nº Recargas Furgoneta} * \text{Coste Recarga Bateria Furgonetas}; \text{Nº Recargas Bicicleta} * \text{Coste Recarga Bateria Bicicletas})$
 - Esta multiplica el número de recargas de furgoneta y bicicleta por sus respectivos costes de recarga y suma los resultados.
- $\text{Coste Sueldos} = \text{SUMAPRODUCTO}(\text{¿Contratado?}; \text{Sueldos})$
 - Mediante “SUMAPRODUCTO” se multiplican uno a uno los valores de “Sueldos” de cada empleado con su correspondiente variable “¿Contratado?” y, posteriormente, se suman los valores obtenidos.
 - Es decir, se suman aquellos sueldos que se correspondan con los trabajadores contratados.
- $\text{Beneficio por Ventas} = \text{Beneficio por semana} = 9000 \text{ €}$
 - Este dato se ha calculado con anterioridad, esto se debe a que la empresa establece una cantidad de pedidos semanales, por lo que su beneficio por ventas semanal es constante.

Coste Recarga Baterías	?
Coste Sueldos	?
Beneficio por Ventas	9000

Tabla 42: Tabla inicial de los costes y el beneficio por ventas.

La función objetivo se calculará restándole al beneficio por ventas el coste tanto laboral como de transporte, teniendo en cuenta que todos estos valores están expresados en €/semana.

- $F.O. = \text{Beneficio Total} = \text{Beneficio por Ventas} - (\text{Coste Recarga Baterías} + \text{Coste Sueldos})$

BENEFICIO TOTAL	?
------------------------	---

Tabla 43: Tabla inicial del resultado de la función objetivo.

RESTRICCIONES

PEDIDOS

La restricción R1 supone mantener un control del número de pedidos que pueden realizar los empleados. Es necesario este sea igual o superior al número de pedidos que realiza la empresa por semana.

- $Pedidos\ Máximos\ por\ Semana \geq Pedidos\ por\ semana$

R1			
Mínimo de pedidos por Semana	?	>=	900

Tabla 44: Tabla inicial de la restricción de pedidos mínimos.

TRANSPORTE

La primera parte de la restricción R2 controla que no se superen el máximo de furgonetas disponibles en cada turno, siendo este máximo de 1.

- $SUMAPRODUCTO(Trabajadores\ Día\ X\ Turno\ Y; Conduce\ Furgoneta) \leq Cantidad\ Furgonetas$
 - Mediante “SUMAPRODUCTO” se multiplican uno a uno los valores de “Trabajadores Día X Turno Y” de cada empleado con su correspondiente variable “Conduce Furgoneta” y, posteriormente, se suman los valores obtenidos.
 - Es decir, se comprueba si el empleado trabaja el día X en el turno Y (valor 1 si trabaja) y si este conduce furgoneta (valor 1 si conduce furgoneta) y, tras multiplicar estos dos valores entre sí, se suman los valores obtenidos de cada uno de los empleados.
 - Por tanto, esta “SUMAPRODUCTO” devuelve el número de trabajadores que están contratados como conductores de furgoneta y conducen furgoneta en el día X y turno Y, es decir, aporta el número de furgonetas en uso en dicho turno.

R2 PARTE1				
Controlar que no se supere el máximo de Furgonetas (por turno)				
Lunes	Turno 1	?	<=	1
	Turno 2	?	<=	1
Martes	Turno 1	?	<=	1
	Turno 2	?	<=	1
Miércoles	Turno 1	?	<=	1
	Turno 2	?	<=	1
Jueves	Turno 1	?	<=	1
	Turno 2	?	<=	1
Viernes	Turno 1	?	<=	1
	Turno 2	?	<=	1
Sábado	Turno 1	?	<=	1
	Turno 2	?	<=	1
Domingo	Turno 1	?	<=	1
	Turno 2	?	<=	1

Tabla 45: Tabla inicial de la restricción de furgonetas máximas.

La segunda parte de la restricción R2 controla que no se supere el máximo de bicicletas disponibles en cada turno, siendo este máximo de 2.

- $SUMAPRODUCTO(Trabajadores\ Día\ X\ Turno\ Y; Conduce\ Bicicleta) \leq Cantidad\ Bicicletas$
 - Mediante “SUMAPRODUCTO” se multiplican uno a uno los valores de “Trabajadores Día X Turno Y” de cada empleado con su correspondiente variable “Conduce Bicicleta” y, posteriormente, se suman los valores obtenidos.
 - Es decir, se comprueba si el empleado trabaja el día X en el turno Y (valor 1 si trabaja) y si este conduce bicicleta (valor 1 si conduce bicicleta) y, tras multiplicar estos dos valores entre sí, se suman los valores obtenidos de cada uno de los empleados.
 - Por tanto, esta “SUMAPRODUCTO” devuelve el número de trabajadores que están contratados como conductores de bicicleta y conducen bicicleta en el día X y turno Y, es decir, aporta el número de bicicletas en uso en dicho turno.

R2 PARTE2				
Controlar que no se supere el máximo de Bicicletas (por turno)				
Lunes	Turno 1	?	<=	2
	Turno 2	?	<=	2
Martes	Turno 1	?	<=	2
	Turno 2	?	<=	2
Miércoles	Turno 1	?	<=	2
	Turno 2	?	<=	2
Jueves	Turno 1	?	<=	2
	Turno 2	?	<=	2
Viernes	Turno 1	?	<=	2
	Turno 2	?	<=	2
Sábado	Turno 1	?	<=	2
	Turno 2	?	<=	2
Domingo	Turno 1	?	<=	2
	Turno 2	?	<=	2

Tabla 46: Tabla inicial de la restricción de bicicletas máximas.

TRABAJADORES

La primera línea de la restricción R3 establece que el máximo de trabajadores contratados debe ser igual o inferior al máximo de empleados designado por la empresa, el cual es de 5.

- $SUMA(N^o\ Trabajadores\ Senior; N^o\ Trabajadores\ Intermedio; N^o\ Trabajadores\ Aprendiz) \leq 5$
 - Mediante “SUMA” se suma el número de trabajadores de cada rango de experiencia contratados, valores que se han calculado anteriormente como “subvariables”.

La segunda línea de la restricción R3 supone que, como máximo, debe haber dos empleados seniors.

- $N^{\circ} \text{Trabajadores Senior} \leq 2$

La tercera línea de la restricción R3 controla el número de aprendices contratados. Según lo establecido por la empresa, debe haber un mínimo de 2.

- $N^{\circ} \text{Trabajadores Aprendiz} \geq 2$

R3			
Máximo de Trabajadores (R3_1)	?	<=	5
Máximo de Seniors (R3_1)	?	<=	2
Máximo de Aprendices (R3_2)	?	>=	2

Tabla 47: Tabla inicial de las restricciones de número de trabajadores.

La restricción R4 maneja la relación entre el número de aprendices y de empleados de rango de experiencia superior dentro de cada turno de trabajo. El número de aprendices debe ser igual o inferior al número de empleados superiores (seniors e intermedios) en cada una de las jornadas.

Para esta restricción se explicarán primero los cálculos necesarios para la obtención de los datos de las columnas “Aprendices” y “Superiores” de la Tabla 48.

- *Aprendices día X turno Y =*
 $SUMAR.SI.CONJUNTO(\text{Trabajadores Día X Turno Y}; \text{Experiencias}; \text{Aprendiz};$
 $\text{¿Contratado?}; 1)$
 - Mediante esta función se suman los valores del rango "Trabajadores Día X Turno Y" que cumplen con que la experiencia del empleado sea “Aprendiz” y que el valor de la variable “¿Contratados?” de dicho empleado sea igual a 1.
 - Es decir, devuelve, el número de aprendices que trabajan el día X en el turno Y.
- *Superiores día X turno Y =*
 $SUMAR.SI.CONJUNTO(\text{Trabajadores Día X Turno Y}; \text{Experiencias}; ">"$
 $\& \text{Aprendiz}; \text{¿Contratado?}; 1)$
 - Mediante esta función se suman los valores del rango "Trabajadores Día X Turno Y" que cumplen con que la experiencia del empleado sea superior a “Aprendiz”, es decir, “Senior” o “Intermedio” y que el valor de la variable “¿Contratados?” de dicho empleado sea igual a 1.
 - Es decir, devuelve, el número de superiores (seniors e intermedios) que trabajan el día X en el turno Y.

Por tanto, la restricción será la siguiente:

- $\text{Aprendices día X turno Y} \leq \text{Superiores día X turno Y}$

R4				
Que mínimo haya un Superior en caso de tener un Aprendiz (por turno)				
Franja horaria		Aprendices		Superiores
Lunes	Turno 1	?	<=	?
	Turno 2	?	<=	?
Martes	Turno 1	?	<=	?
	Turno 2	?	<=	?
Miércoles	Turno 1	?	<=	?
	Turno 2	?	<=	?
Jueves	Turno 1	?	<=	?
	Turno 2	?	<=	?
Viernes	Turno 1	?	<=	?
	Turno 2	?	<=	?
Sábado	Turno 1	?	<=	?
	Turno 2	?	<=	?
Domingo	Turno 1	?	<=	?
	Turno 2	?	<=	?

Tabla 48: Tabla inicial de la restricción de los aprendices.

La restricción R5 permite controlar que, en caso de contratar a un empleado, este solo utilice uno de los vehículos, y no ambos. Para esto, se emplea la variable “¿Contratado?”, la cual se calcula, como se ha mencionado anteriormente, como la suma de “Conduce Furgoneta” y “Conduce Bicicleta”. En caso de que el valor de esta sea superior a 1, significará que está utilizando ambos vehículos al mismo tiempo, por lo que se establece la siguiente restricción:

- $\text{¿Contratado } X? \leq 1$

R5			
Controlar que no conduzcan furgoneta y bicicleta al mismo tiempo			
Juan	?	<=	1
María	?	<=	1
Carlos	?	<=	1
Ana	?	<=	1
Luis	?	<=	1
Sofía	?	<=	1
Diego	?	<=	1
Laura	?	<=	1
Elena	?	<=	1

Tabla 49: Tabla inicial de la restricción de control de uso de vehículos.

Por último, se necesita controlar que el personal contratado no conduzca la furgoneta sin carné ni la bicicleta si no sabe ir en ella. Para esto se crean dos restricciones, la R6 y la R7.

- $\text{Conduce Furgoneta } X \leq \text{Carné de Conducir } X$

R6			
Controlar que no conduzcan furgoneta si no tienen carné (R6)			
Juan	?	<=	1
María	?	<=	0
Carlos	?	<=	1
Ana	?	<=	1
Luis	?	<=	1
Sofía	?	<=	1
Diego	?	<=	1
Laura	?	<=	1
Elena	?	<=	0

Tabla 50: Tabla inicial de la restricción que controla si el trabajador tiene carné de conducir.

- $\text{Conduce Bicicleta } X \leq \text{Sabe ir en Bicicleta } X$

R7			
Controlar que no conduzcan bicicleta si no saben			
Juan	?	<=	0
María	?	<=	1
Carlos	?	<=	0
Ana	?	<=	1
Luis	?	<=	1
Sofía	?	<=	0
Diego	?	<=	1
Laura	?	<=	0
Elena	?	<=	1

Tabla 51: Tabla inicial de la restricción que controla si el trabajador sabe ir en bicicleta.

3.2.5.2. USO DEL SOLVER

CONFIGURACIÓN DEL SOLVER

A la hora de emplear el *Solver*, el primer paso ha sido definir mediante nombres de funciones las celdas que se van a introducir en él con el objetivo de conseguir una mayor claridad. El siguiente paso es establecer el objetivo y las celdas de variables a modificar, consultar Figura 7.

Parámetros de Solver

Establecer objetivo: MT_FO

Para: ☒ Máx ☐ Mín ☐ Valor de: 0

Cambiando las celdas de variables: MT_Variables

Figura 7: Objetivos y celdas variables del Solver (Mejora del transporte).

A continuación, se deben establecer las restricciones que se tendrán en cuenta para el cálculo del valor de las variables. Además, debido a las características del problema, se debe establecer el método de resolución a *Evolutionary*, para así poder conseguir los resultados, consultar Figura 8.

Parámetros de Solver

Establecer objetivo: MT_FO

Para: ☒ Máx ☐ Mín ☐ Valor de: 0

Cambiando las celdas de variables: MT_Variables

Sujeto a las restricciones:

- MT_Variables = binario
- MT_izquierda_R1 >= MT_derecha_R1
- MT_izquierda_R2_PARTE1 <= MT_derecha_R2_PARTE1
- MT_izquierda_R2_PARTE2 <= MT_derecha_R2_PARTE2
- MT_izquierda_R3_1 <= MT_derecha_R3_1
- MT_izquierda_R3_2 >= MT_derecha_R3_2
- MT_izquierda_R4 <= MT_derecha_R4
- MT_izquierda_R5 <= MT_derecha_R5
- MT_izquierda_R6 <= MT_derecha_R6
- MT_izquierda_R7 <= MT_derecha_R7

☒ Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución: Evolutionary

Método de resolución

Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

Ayuda Resolver Cerrar

Figura 8: Restricciones y método de resolución del Solver (Mejora del transporte).

Asimismo, para que el Solver pueda encontrar una solución, es necesario modificar el valor por defecto del *Tiempo máximo sin mejora* de 30 segundos a 90 segundos. Con este valor se asegura conseguir un resultado dados los datos de entrada; aunque seguramente, con otros datos, este valor será diferente.

Usando el motor *Evolutionary*, el Solver se detiene porque no puede encontrar una mejor solución en el tiempo determinado. Es por ello por lo que, si no se aumenta el tiempo, no encuentra una solución que cumpla con todas las restricciones. La resolución del problema se lleva a cabo en unos 5 minutos – tiempo suficiente para tomarse un café. Es un tiempo razonable teniendo en cuenta que, dadas las variables decisión, hay $2^{18} = 262.144$ escenarios posibles, en los cuales se debe comprobar si las restricciones se cumplen. Por lo que es posible que haya una solución mejor, consultar Figura 9.

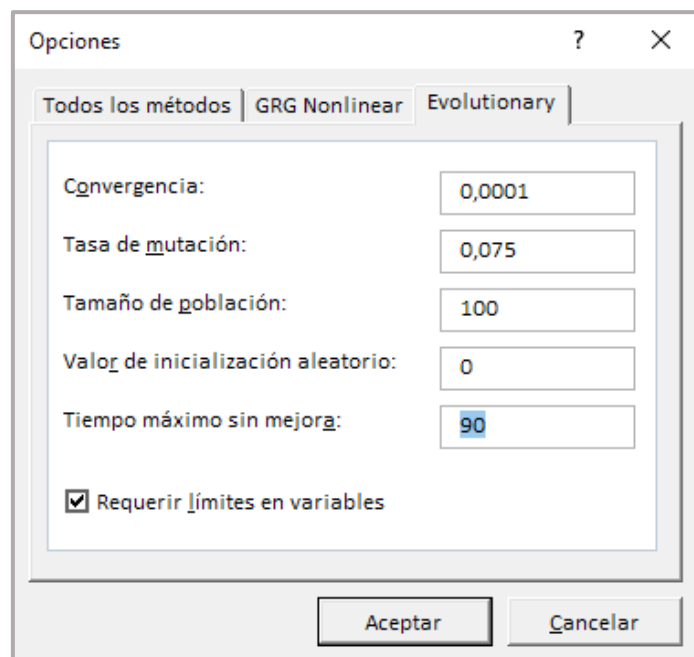


Figura 9: Opciones del método de resolución del *Solver* (Mejora del transporte).

Los resultados obtenidos con el mismo se comentan en el apartado siguiente. Aun así, pueden observarse de forma más detenida en el Excel adjuntado a la tarea “Empresa Apicultora – Trabajo Bloque 2”. En este se puede consultar el *Listado de Nombres de Funciones* de la hoja “Mejora del Transporte” del Excel.

3.2.6. SOLUCIONES OBTENIDAS

Una vez realizados los cálculos mediante Excel, se obtienen los siguientes resultados:

- Empleados Seniors contratados: Laura (furgoneta).
- Empleados Intermedios contratados: Ana (bicicleta).
- Empleados Aprendices contratados: Carlos (furgoneta) y Elena (bicicleta).

Esta configuración supone el uso de:

- Una furgoneta de lunes a viernes por las mañanas.
- Una bicicleta de lunes a viernes por la tarde.
- Una furgoneta de miércoles a domingo por la tarde.
- Una bicicleta de miércoles a domingo por la mañana.

La solución aportada genera un beneficio neto de 7625 € y permite realizar un máximo de 1050 pedidos por semana, llegando al mínimo solicitado.

INFORME DE SENSIBILIDAD

Al tratarse de variables binarias, Excel no proporciona un informe de sensibilidad al realizar los cálculos con *Solver*, por tanto, en el caso planteado no procede la realización de este informe.

Asimismo, el problema planteado ha sido resuelto con otro método que no ha sido el *Simplex LP* ya que no se cumplen con varias hipótesis de la programación lineal. Una de ellas es la *Linealidad*, ya que hay variables que si se modifica su valor, su contribución no es proporcional/constante en la función objetivo. Por ejemplo, cuando se asigna un 1 a $X_{JuanConduceBicicleta}$, pero Juan no sabe ir en bicicleta, la modificación de esa variable no aporta nada en la solución.

Otra de las hipótesis que no se están cumpliendo es la de *Certidumbre*, ya que hay coeficientes que no son conocidas a priori, el ejemplo más claro es el de la restricción R4.

4. CONCLUSIONES

PORCENTAJES ÓPTIMOS

Una vez realizados los cálculos mediante Excel y obtenidos los resultados, se puede observar cómo afectan algunas de las restricciones al resultado.

La restricción que determina un mínimo de producción de ciertos productos (R2) afecta, por ejemplo, a la hora de determinar la cantidad de *packs* individuales de los tarros de miel de 0,5 kg, los tarros de polen y los envases de propóleo. En estos casos, la restricción obtiene como resultado óptimo el valor mínimo establecido. Es decir, el modelo no encuentra rentable producir más *packs* que los mínimos exigidos por la restricción. Por tanto, si no existieran estas restricciones, es posible que producir menos *packs* pudiera ser más beneficioso. En resumen, esta condición, en el caso de estos productos, es restrictiva y limita el beneficio potencial.

Esta situación con la restricción R2 vuelve a repetirse en el caso de los tarros de miel de 1 kg, en el cual se observa una mayor rentabilidad en la venta individual que en la de *packs*.

Por otra parte, la jalea real encuentra su distribución de porcentajes óptima sin llegar a los límites de las restricciones. Siendo el único caso no condicionado por su restricción respectiva.

Por último, cabe destacar que todos los resultados se ven limitados por el objetivo de pedidos. En caso de aumentar este valor, es muy probable que el número de *packs* aumentase ya que, en general, estos tienen un balance coste beneficio mucho más beneficioso para la empresa.

MEJORA DEL TRANSPORTE

Una vez realizados los cálculos mediante Excel y obtenidos los resultados, se concluye que, aunque la empresa obtiene beneficios y logra, por tanto, cumplir sus objetivos; la cantidad de pedidos semanales que realizan es muy baja. Los empleados podrían realizar 1050 pedidos, pero solo se requieren 900, por lo que la empresa, de forma indirecta, pierde dinero al no aprovecharse al máximo de sus trabajadores.

Se podría optar por buscar nuevos candidatos que se ajustasen de mejor forma a las necesidades de la empresa en cuanto a demanda o reducir la jornada laboral de alguno de los empleados (reduciendo el número de entregas semanales de este). También sería posible que, si se redujese el número mínimo de aprendices, se lograra un resultado más apropiado al contratar algún trabajador

intermedio, pero esto requeriría que la empresa fuese más flexible con sus condiciones para que las restricciones fuesen menos limitativas.

Además, si se contratasen a los empleados obtenidos como resultado, se podrían deshacer de una de las bicicletas, ya que por turno solo sería necesaria una.

Otra opción sería que la empresa aumentase el número de pedidos que realiza por semana. Para ello, se podría ajustar la restricción R1 establecida en “Porcentajes Óptimos” para el control del máximo de pedidos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOCUMENTOS DE LA ENTREGA

- Empresa Apicultora – Trabajo Bloque 1 – Datos y Cálculos
- Empresa Apicultora – Trabajo Bloque 2 – Datos del Modelo
- Empresa Apicultora – Trabajo Bloque 2 – Modelo en Excel