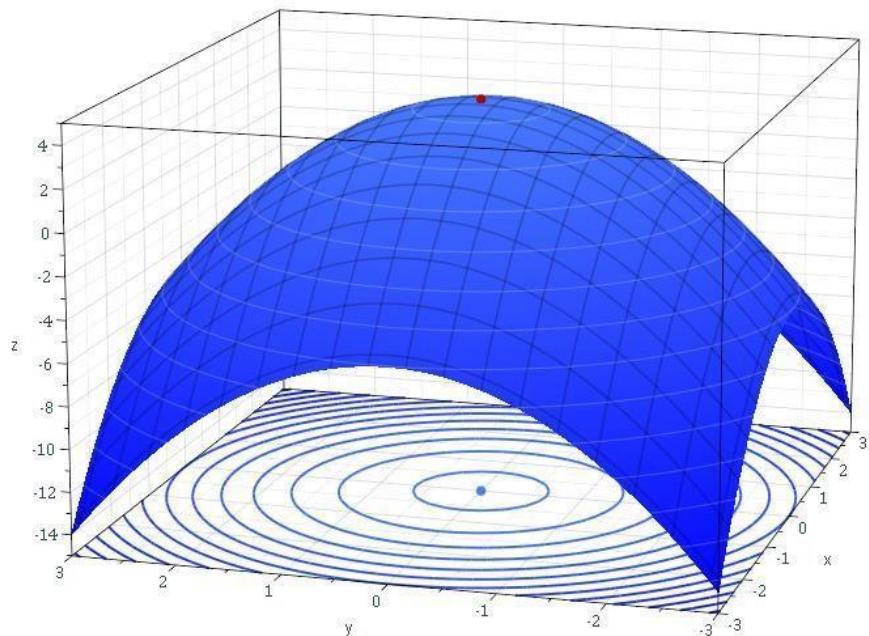


MANUAL DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES



Tercer Semestre 2026

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

DÍA	HORARIO	ACTIVIDAD
Lunes	08:00-12:00 13:00-17:00	Práctica 1: Programación lineal con Excel
Martes	08:00-12:00 13:00-17:00	Práctica 2: Modelos de transporte y asignación con Excel
Miércoles	08:00-12:00 13:00-17:00	Práctica 3: Método de la ruta crítica para aceleración de proyectos
Jueves	08:00-12:00 13:00-17:00	Práctica 4: Software para gestión de proyectos
La evaluación será virtual del 25/05/2026 al 29/06/2025.		

MATERIAL NECESARIO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

Cada estudiante deberá traer los siguientes materiales según corresponda en la práctica:

No.	Material
1	Hojas en blanco Lapiceros Calculadora Computadora con Microsoft Excel
2	Hojas en blanco Lapiceros Computadora con Microsoft Excel
3	Hojas en blanco Lapiceros Computadora con Microsoft Excel
4	Hojas en blanco Lapiceros Computadora Instalar Project Libre

INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA PRÁCTICA

Para la realización adecuada de las prácticas deberán atenderse las siguientes indicaciones:

1. Presentarse puntualmente a la hora del inicio del laboratorio y permanecer durante la duración de este.
2. Realizar las actividades y hojas de trabajo planteadas durante la práctica.
3. Participación y cuidado de cada uno de los integrantes del grupo en todo momento de la práctica.
4. Conocer la teoría, (leer el manual antes de presentarse a cada práctica).
5. **No se permite el uso de teléfono celular dentro del laboratorio.** Si tiene llamadas laborales deberá atender las mismas únicamente en el horario de receso.
6. Si sale del salón de clases sin la autorización del docente perderá el valor de la práctica.
7. No puede atender visitas durante la realización de la práctica.
8. El horario de receso es únicamente de 15 minutos.
9. **Respeto dentro del laboratorio hacia los catedráticos o compañeros (as).**

La falta a cualquiera de los incisos anteriores será motivo de una inasistencia.

Consideré que se prohíbe terminantemente comer, beber y fumar. Éstos también serán motivos para ser retirado de la práctica.

Recuerde que para tener derecho al punteo y aprobar el curso deberá presentarse a las prácticas y realizar las evaluaciones en línea, las cuales estarán habilitadas del 25 de mayo 2026 **a las 8:00 al 26 de mayo 2026 a las 18:00.**

INFORME DE PRÁCTICA

Las secciones de las cuales consta un informe, el punteo de cada una y el orden en el cual deben aparecer son las siguientes:

- a) Resultados
- b) Resumen de la práctica
- c) Conclusiones

Si se encuentran dos informes parcial o totalmente parecidos se anularán automáticamente dichos reportes.

- a. **RESULTADOS:** Es la sección en la que se presentan de manera clara y objetiva los datos obtenidos a partir de la práctica realizada.
- b. **RESUMEN DE LA PRÁCTICA:** Esta sección corresponde al contenido del informe, aquello que se ha encargado realizar según las condiciones del laboratorio.
- c. **CONCLUSIONES:** Constituyen la parte más importante del informe. Son las decisiones tomadas, respuestas a interrogantes o soluciones propuestas a las actividades planteadas durante la práctica.

DETALLES FÍSICOS DEL INFORME

- El informe debe presentarse en hojas de papel bond **tamaño carta**.
- Cada sección descrita anteriormente, debe estar debidamente identificada y en el orden establecido.
- Todas las partes del informe deben estar escritas a mano CON LETRA CLARA Y LEGIBLE, a menos que se indique lo contrario.
- Se deben utilizar ambos lados de la hoja.
- No debe traer folder ni gancho, simplemente engrapado.

IMPORTANTE:

Los informes se entregarán al día siguiente de la realización de la práctica al entrar al laboratorio SIN EXCEPCIONES. Todos los implementos que se utilizarán en la práctica se tengan listos antes de entrar al laboratorio pues el tiempo es muy limitado. Todos los trabajos y reportes se deben de entregar en la semana de laboratorio no se aceptará que se entregue una semana después.

PRÁCTICA NO. 1

PROGRAMACIÓN LINEAL EN EXCEL

1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Conocer los principios de la programación lineal.
- 1.2. Utilizar una hoja de cálculo para resolver problemas de optimización.

2. Marco Teórico:

Investigación de operaciones: es una metodología que proporciona los medios más eficientes para la administración de recursos, para ello utiliza modelos matemáticos que optimizan en algún criterio particular, permitiendo tomar decisiones acertadas.

Programación lineal: se refiere a varias técnicas matemáticas para asignar recursos, en forma óptima, a distintas demandas que compiten por ellos. Teniendo en cuenta que las funciones matemáticas que aparecen en la definición del problema son lineales.

Optimizar: quiere decir buscar mejores resultados, más eficacia o mayor eficiencia en el desempeño de alguna tarea. En la investigación de operaciones, se dice que se ha optimizado una tarea, método, proceso o sistema cuando se ha efectuado modificaciones en la forma usual de proceder y se han obtenido resultados que están por encima de lo regular o esperado. En este sentido, optimizar es realizar una mejor gestión de los recursos en función del objetivo que perseguimos. Para que una situación plantee un problema de programación lineal debe cumplir con cinco condiciones básicas:

1. Recursos limitados: los recursos que se han de distribuir en el problema deben ser limitados, de lo contrario, no habría sentido en optimizar la gestión de estos.
2. Objetivo: debe existir una meta clara a alcanzar, regularmente el objetivo está vinculado con el dinero, por ejemplo, maximizar ganancias, o reducir costos.
3. Linealidad: las formulaciones matemáticas que resultan del planteamiento del problema deben ser lineales, de no serlo, se debe ser consciente de esto al seleccionar el método de resolución.
4. Homogeneidad: debe existir una sola estructura del planteamiento del problema, las restricciones deben mantener una misma naturaleza.
5. Divisibilidad: los recursos disponibles deben ser capaces de ser utilizados en cualquier cantidad y no estar limitados a cantidades específicas.

Modelo general de investigación de operaciones: los problemas de investigación de operaciones generalmente siguen una estructura básica, sin importar su naturaleza:

Maximizar o minimizar: función objetivo
Sujeto a: variables de decisión con restricciones

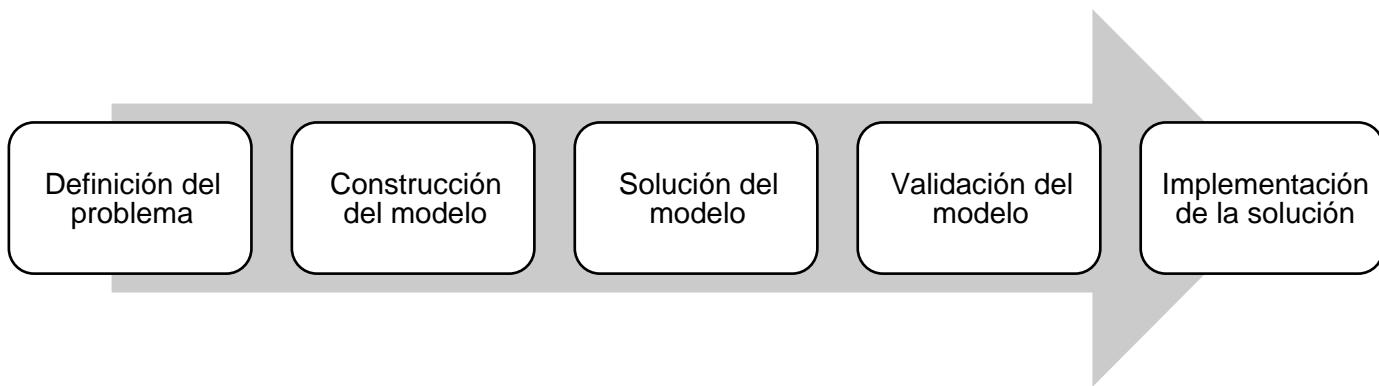
- **Función objetivo:** Es una expresión matemática de las variables de decisión, que representa la medida de desempeño de las alternativas de decisión, normalmente expresada en dinero.
- **Variables de decisión:** decisiones cuantificables relacionadas entre sí para las que se deben determinar valores respectivos, generalmente, se refieren a la manera de distribuir los recursos.
- **Restricciones:** limitaciones que se imponen sobre los valores de las variables de decisión.

Una solución al modelo es factible si satisface todas las restricciones; es óptima si, además de ser factible, produce el mejor valor de la función objetivo. Se debe tener en cuenta que la solución óptima de un modelo es mejor solo para ese modelo. Si el modelo es una representación razonablemente buena del sistema real, entonces su solución también es óptima para la situación real.

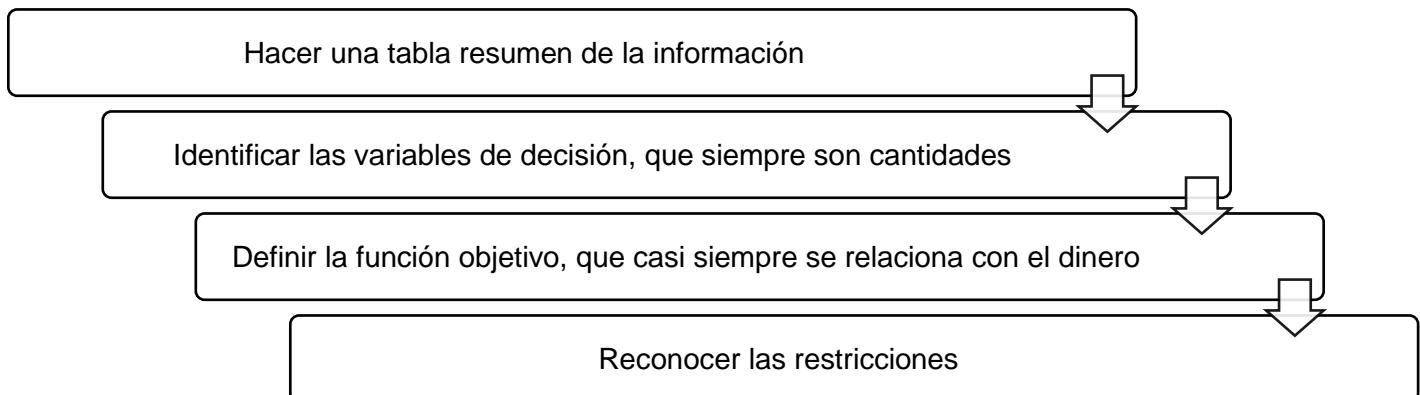
Antes de utilizar la investigación de operaciones se debe considerar:

1. El problema podría solucionarse con otro tipo de metodología.
2. Se debe tener en cuenta el comportamiento humano.
3. No se debe iniciar con el prejuicio de utilizar una herramienta hasta justificar su uso.

Fases de un estudio de investigación de operaciones:



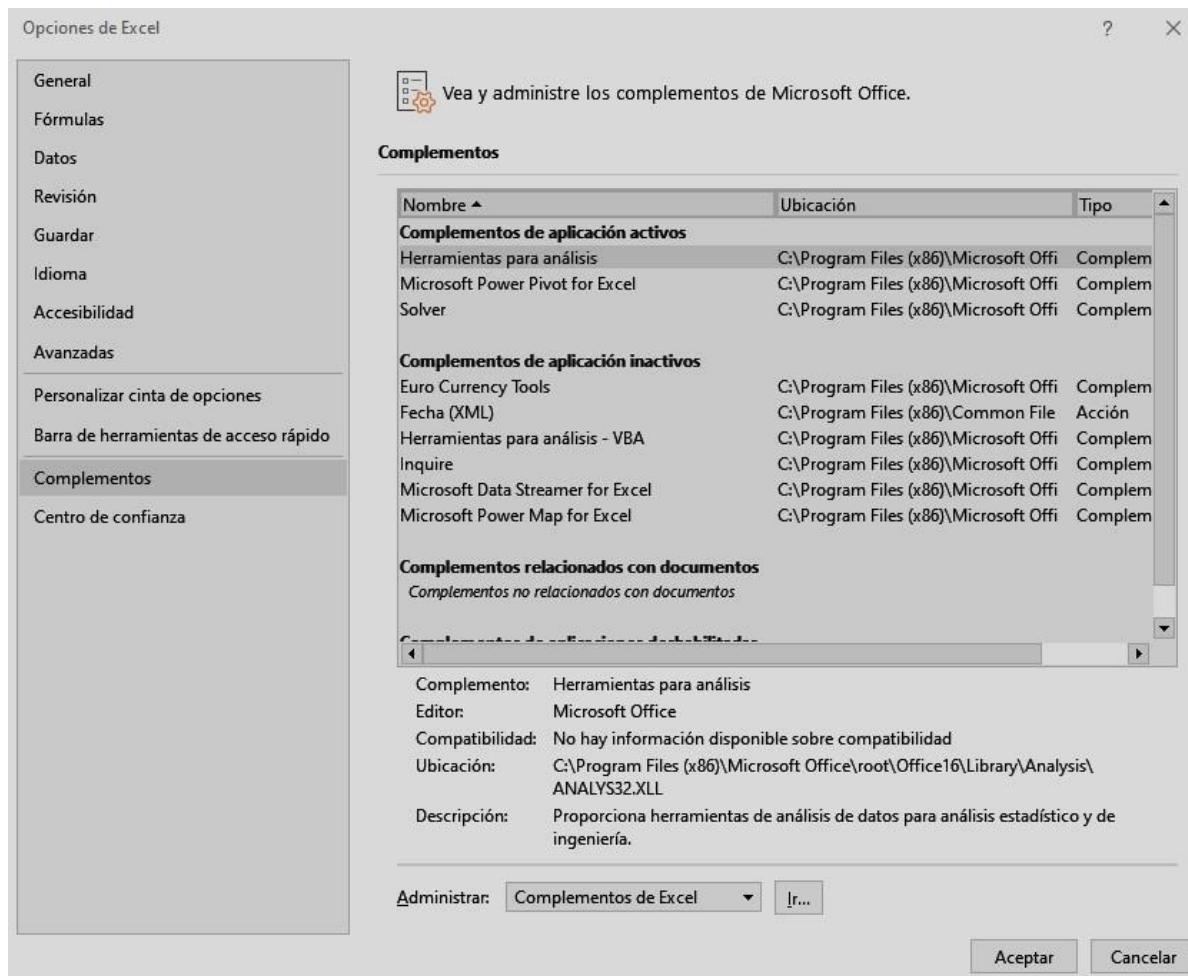
Planteamiento de un problema de programación lineal:



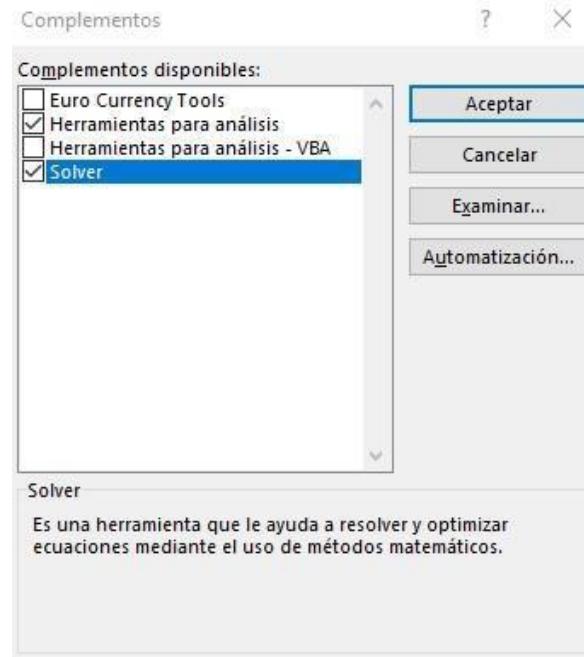
Una vez planteado el problema de programación lineal, se utiliza alguna metodología de resolución para encontrar el valor óptimo. Uno de los métodos más conocidos es el Simplex, sin embargo, resolver problemas de programación lineal más grandes, con muchas variables y restricciones, complica demasiado realizar este tipo de problemas a mano. Por tanto, se plantea el uso de una herramienta digital para acelerar el trabajo.

Microsoft Excel cuenta con un complemento llamado *Solver*, este es un complemento que se utiliza para optimizar celdas objetivo haciendo cambios en variables hasta encontrar valores que cumplen con las restricciones y brindan el valor más cercano al objetivo planteado.

Para activar el complemento, en Microsoft Excel, en la pestaña “Archivo”, en la selección de “Opciones”. En la opción de “Complementos”, aparece en la parte inferior una sección llamada “Administrar”.



Al hacer click en la opción “Ir...” aparece el siguiente cuadro de diálogo. Se debe verificar que la casilla esté seleccionada y al dar click en aceptar se instalará el complemento. Una vez instalado, el complemento aparecerá en la pestaña “Datos”, bajo la sección de análisis.



Por ejemplo, en una fábrica de café se tiene el producto “3 cereales” que trata de ser menos dañino respecto a otras marcas de café. Diariamente se procesan 350 lb y el contenido de este debe poseer al menos 30% de proteínas, no más del 6% de almidón y entre 3% y 5% de minerales. La información de cada cereal es la siguiente:

	Cebada (1)	Trigo (2)	Maíz (3)
Proteínas	12%	52%	9%
Almidón	1%	8%	15%
Minerales	0%	8%	2%
Precio por libra	4.50	3.2	1.9

Los valores anteriores son por cada libra de cereal. En este caso, se debe terminar la formulación óptima del producto que cumplan las restricciones.

El objetivo es determinar la cantidad en libras de cereal de cada cereal (x_i) disponible para la compra que reduzca al mínimo el costo de compra de los ingredientes (z).

$$z = 4.50x_1 + 3.20x_2 + 1.90x_3$$

La ecuación anterior representa el costo total de compra, este es proporcional a la cantidad en libras de cada tipo de cereal. Por tanto, se considera como una función lineal.

Planteamiento de Restricciones

Las restricciones se plantean como desigualdades, en el caso de las proteínas, indica que este valor debe ser *al menos* 30% de 350, o bien 105 lb, esto significa que podría ser mayor, entonces, el aporte individual de cada tipo de cereal debe sumar un total del 30% o más.

	Cebada (1)	Trigo (2)	Maíz (3)
Proteínas	12%	52%	9%

Restricción planteada:

$$0.30 * 350 \geq 0.12x_1 + 0.52x_2 + 0.09x_3$$

En el caso del almidón, este debe ser *no más* del 6% de 350 lb de la combinación de cereales, este puede ser menos, pero no tendría sentido considerar un valor negativo de almidón, por ejemplo -9%.

	Cebada (1)	Trigo (2)	Maíz (3)
Almidón	1%	8%	15%

Restricción planteada:

$$0.06 * 350 \leq 0.01x_1 + 0.08x_2 + 0.15x_3$$

En el caso de los minerales, únicamente el trigo y el maíz contienen minerales, por tanto, solo estos deberán aparecer en la restricción. El valor de los minerales debe estar en un rango de 3% a 5% de 350 lb.

	Cebada (1)	Trigo (2)	Maíz (3)
Minerales	0%	8%	2%

Restricción planteada:

$$0.05 * 350 \leq 0.00x_1 + 0.08x_2 + 0.02x_3 \geq 0.03 * 350$$

Las variables de decisión son las cantidades en libras de cereal a comprar (x_1, x_2, x_3), sin embargo, no es posible comprar una cantidad negativa de libras, por tanto, aparecen las denominadas **restricciones de no negatividad**, es decir, que las variables de decisión deben ser positivas.

$$0.00 \leq x_1$$

$$0.00 \leq x_2$$

$$0.00 \leq x_3$$

Debido a que existe un máximo de libras procesadas al día, esta será una restricción de la combinación de cereales a comprar. Por tanto:

$$350 \geq x_1 + x_2 + x_3$$

Resumiendo:

Función objetivo:

Minimizar

$$z = 4.50x_1 + 3.20x_2 + 1.90x_3$$

Restricciones:

$$105 \geq 0.12x_1 + 0.52x_2 + 0.09x_3$$

$$21 \leq 0.01x_1 + 0.08x_2 + 0.15x_3$$

$$17.5 \leq 0.00x_1 + 0.08x_2 + 0.02x_3 \geq 10.5$$

$$0.00 \leq x_1$$

$$0.00 \leq x_2$$

$$0.00 \leq x_3$$

$$350 \geq x_1 + x_2 + x_3$$

Se debe identificar una solución trivial, esto es, si no se compra nada. Naturalmente, esta respuesta no es aceptable, por tanto, se debe buscar una solución que de valores positivos para al menos uno de los cereales. Es en este punto que se utilizaría una metodología como Simplex para encontrar la respuesta por medio de cálculos y algoritmos complejos, pero en su lugar se utilizará una hoja de cálculo. Colocando las fórmulas en Excel, se deberá observar algo similar a la siguiente tabla:

Función objetivo	$z=$	0
Variables de decisión	$x_1=$	
	$x_2=$	
	$x_3=$	

Restricciones

	Cebada	Trigo	Maíz	Total	Condición	Límite
Proteínas	0.12	0.52	0.09	0	Mayor que	105
Almidón	0.01	0.08	0.15	0	Menor que	21
Minerales	0	0.08	0.02	0	Entre	10.5
Masa total	0	0	0	0	Menor que	350

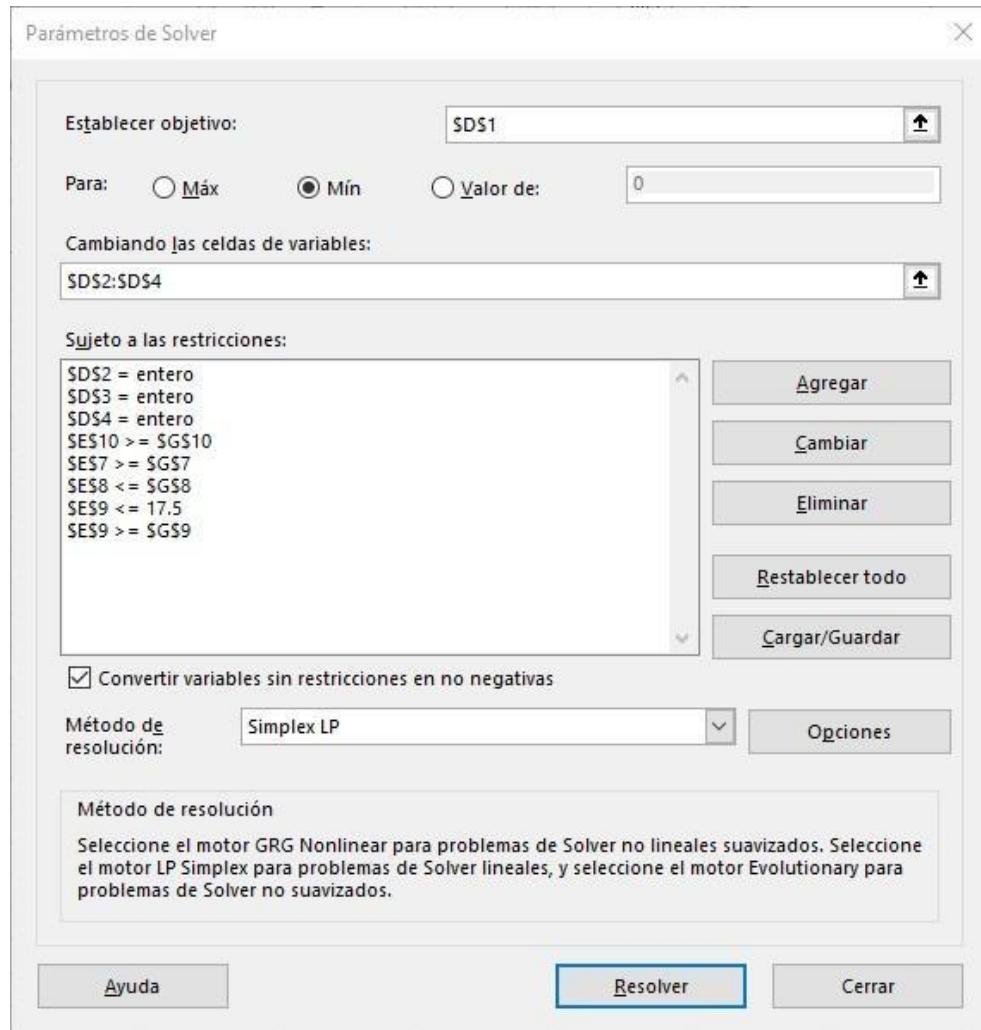
Como todavía no se han ingresado valores en las variables de decisión, los totales todavía igualan a cero. Colocando un valor de prueba:

Función objetivo	$z=$	1055
Variables de decisión	$x_1=$	100
	$x_2=$	100
	$x_3=$	150

Restricciones

	Cebada	Trigo	Maíz	Total	Condición	Límite
Proteínas	0.12	0.52	0.09	77.5	Mayor que	105
Almidón	0.01	0.08	0.15	31.5	Menor que	21
Minerales	0	0.08	0.02	11	Entre	10.5
Masa total	100	100	150	350	Menor que	350

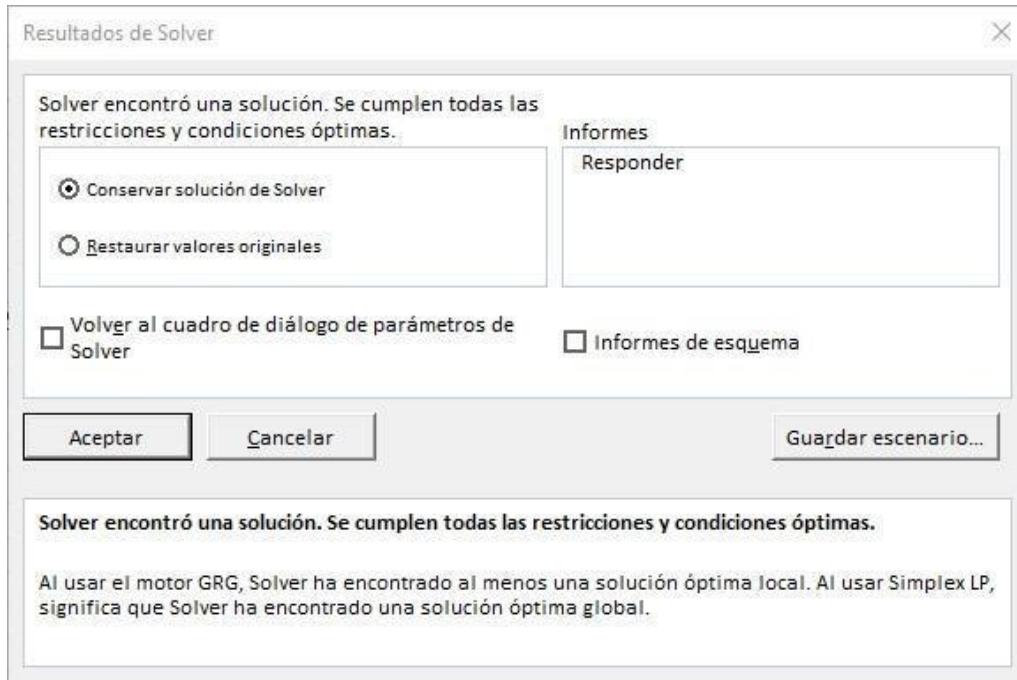
En los valores de prueba anteriores, se observa cómo no se cumplen algunas de las restricciones. Por ejemplo, la cantidad de proteínas no es mayor que el límite establecido, tampoco el almidón cumple con la restricción. Para encontrar la respuesta óptima, se ingresa la información a *Solver*:



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Función objetivo		$z =$	1250				
2	Variables de decisión		$x_1 =$	118				
3			$x_2 =$	214				
4			$x_3 =$	18				
5	Restricciones							
6		Cebada	Trigo	Maíz	Total	Condición	Límite	
7	Proteínas	0.12	0.52	0.09	127.06	Mayor que	105	
8	Almidón	0.01	0.08	0.15	21	Menor que	21	
9	Minerales	0	0.08	0.02	17.48	Entre	10.5	17.5
10	Masa total	118	214	18	350	Menor que	350	

Primero se indica la celda en donde se encuentra la función objetivo, las celdas y sus referencias se encuentran en la siguiente imagen, se coloca si se desea minimizar, maximizar o igualar a algún valor. Luego, se ingresan las restricciones como desigualdades donde apliquen, adicional a las anteriores, se ha indicado que la respuesta debe ser un número entero. Al marcar la casilla "Convertir variables sin restricciones en no negativas" se agrega la condición de no negatividad. En el método de resolución se selecciona Simplex LP para la programación lineal, si el problema no es lineal se puede utilizar el motor GRG Nonlinear.

Al dar click en "Resolver" Solver optimiza la celda objetivo para encontrar la solución:



Lo anterior significa que se deberán comprar 118 lb de cebada, 214 lb de trigo y 18 lb de maíz para las 350 lb de producción diaria.

La mayor dificultad en problemas de programación lineal es representar la situación correctamente con modelos matemáticos y luego colocarlos en una hoja de cálculo. Debe dedicarse una buena cantidad de tiempo a verificar que las funciones de *Excel* realmente están representando la situación que se está trabajando.

Ejemplo No. 2

SolarPack S.A. ensambla tres tipos de kits solares portátiles:

- Kit Básico para camping,
- Kit Residencial para respaldo en el hogar,
- Kit Profesional para uso en pequeñas empresas.

La fabricación de los kits requiere tres recursos limitados: paneles solares, baterías y horas de ensamble. La siguiente tabla muestra el uso de recursos por unidad de producto, la disponibilidad diaria de cada recurso y el precio de venta de cada kit.

Recurso / Datos	Kit Básico	Kit Residencial	Kit Profesional	Disponibilidad diaria
Paneles solares (unidades)	1	2	3	180
Baterías (unidades)	1	2	4	260
Ensamble (horas)	0.5	0.8	1.2	90
Precio de venta (Q / unidad)	Q 650	Q 1,050	Q 1,600	—

La empresa desea determinar cuántos kits de cada tipo producir diariamente para maximizar los ingresos por ventas, considerando que únicamente se pueden vender los kits que se fabriquen.

1. Formule el modelo de Programación Lineal (variables de decisión, función objetivo y restricciones).
2. Resuélvalo en Excel Solver utilizando el método simplex para encontrar la mejor combinación de kits a producir cada día.

1. Variables de decisión

Definimos:

- x_1 : número de kits Básicos a producir diariamente.
- x_2 : número de kits Residenciales a producir diariamente.
- x_3 : número de kits Profesionales a producir diariamente.

Cada variable representa la cantidad producida por día de cada tipo de kit.

2. Función objetivo

Queremos maximizar los ingresos diarios por ventas.

Precios de venta:

- Kit Básico: Q 650 por unidad
- Kit Residencial: Q 1,050 por unidad
- Kit Profesional: Q 1,600 por unidad

Entonces, los ingresos totales diarios son:

$$Z = 650x_1 + 1050x_2 + 1600x_3 \quad (\text{Función Objetivo})$$

3. Restricciones

• Restricción de los paneles solares

Cada tipo de kit requiere una cantidad específica de paneles solares: el kit Básico utiliza 1 panel, el Residencial 2 paneles y el Profesional 3 paneles por unidad. Dado que la empresa dispone únicamente de 180 paneles diariamente, la suma del consumo total de paneles por todos los kits producidos no puede superar esta disponibilidad. Esta condición se expresa mediante la desigualdad:

$$x_1 + 2x_2 + 3x_3 \leq 180$$

• Restricción de baterías

Los kits también requieren baterías para su funcionamiento. El kit Básico demanda 1 batería, el Residencial 2 y el Profesional 4. La disponibilidad diaria es de 260 baterías, por lo que la producción debe planificarse de modo que el uso total no exceda esta cantidad. Esto se representa con la restricción:

$$x_1 + 2x_2 + 4x_3 \leq 260$$

• Restricción de horas de ensamble

El proceso de ensamble es realizado por personal calificado, cuya capacidad diaria es de 90 horas. Cada kit requiere una cantidad distinta de horas de trabajo: 0.5 para el Básico, 0.8 para el Residencial y 1.2 para el Profesional. Para garantizar que la demanda de mano de obra no supere el tiempo disponible, se establece la restricción:

$$0.5x_1 + 0.8x_2 + 1.2x_3 \leq 90$$

- **Restricción de no negatividad**

Finalmente, dado que no es posible producir cantidades negativas de kits, se imponen las restricciones de no negatividad:

$$\begin{aligned}x_1 &\geq 0 \\x_2 &\geq 0 \\x_3 &\geq 0\end{aligned}$$

4. Modelo Completo

Maximizar:

$$Z = 650x_1 + 1050x_2 + 1600x_3 \quad (\text{Función Objetivo})$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned}x_1 + 2x_2 + 3x_3 &\leq 180 \quad (\text{Panelas Solares}) \\x_1 + 2x_2 + 4x_3 &\leq 260 \quad (\text{Baterías}) \\0.5x_1 + 0.8x_2 + 1.2x_3 &\leq 90 \quad (\text{Horas de ensamble}) \\x_1, x_2, x_3 &\geq 0 \quad (\text{No Negatividad})\end{aligned}$$

Traslado de información a Microsoft Excel:

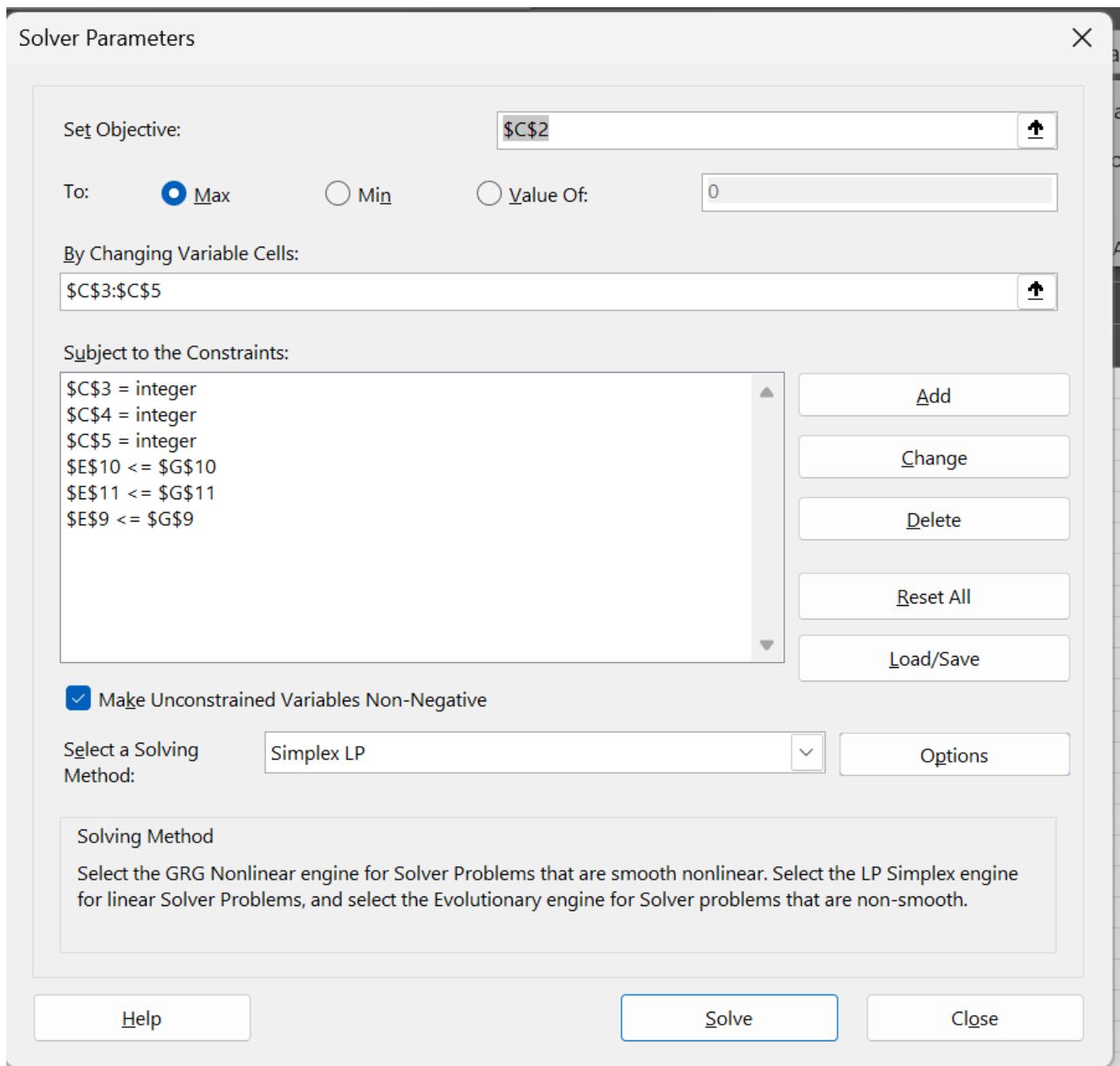
En esta primera imagen se muestra la estructura utilizada para trasladar el modelo matemático de programación lineal hacia una hoja de cálculo en Excel. En la parte superior se encuentra la celda destinada a la función objetivo, donde se calculará el valor total a maximizar. Debajo de ella se ubican las celdas asignadas a las variables de decisión x_1 , x_2 y x_3 , que representan las cantidades a producir de cada tipo de kit.

Más abajo, se presenta un cuadro con las restricciones del problema. En este cuadro se colocan los coeficientes correspondientes al consumo de recursos por cada unidad producida: paneles solares, baterías y horas de ensamble. En la columna “Total” se calculará el uso total de cada recurso multiplicando los coeficientes por los valores de las variables. Finalmente, en la columna “Límite” se registran las disponibilidades máximas diarias permitidas para cada recurso, mientras que la columna “Condición” aclara que todas las restricciones deben ser del tipo “menor o igual que”.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	Función Objetivo	$Z =$	0				
3	Variables de Decisión	$x_1 =$					
4		$x_2 =$					
5		$x_3 =$					
6							
7	Restricciones						
8		Kit Básico	Kit Residencial	Kit Profesional	Total	Condición	Límite
9	Paneles Solares	1	2	3	0	Menor o igual que	180
10	Baterías	1	2	4	0	Menor o igual que	260
11	Horas de Ensamble	0.5	0.8	1.2	0	Menor o igual que	90

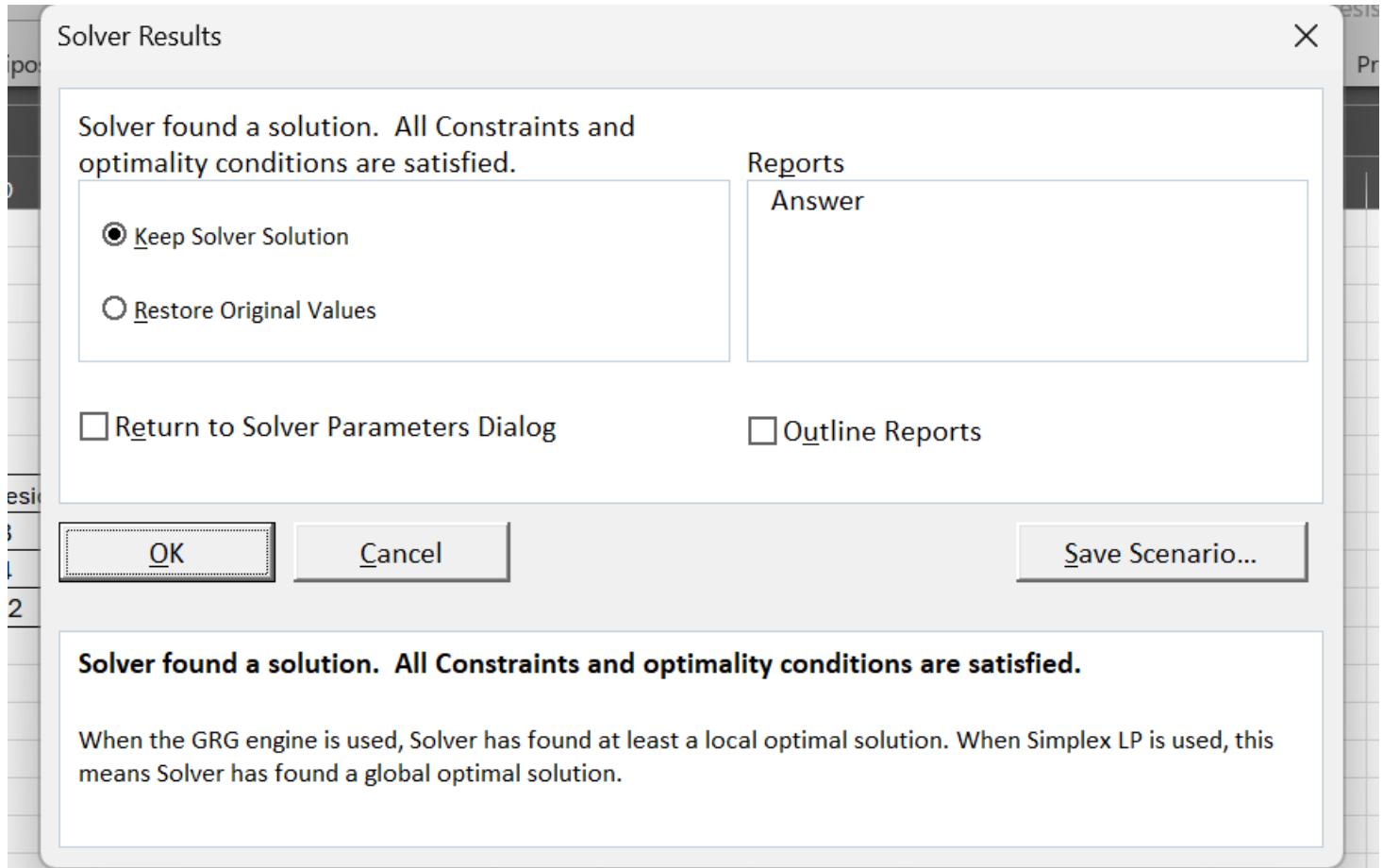
En la segunda imagen se observa la ventana de configuración de Solver en Excel. En el apartado “Set Objective” se ha seleccionado la celda donde se encuentra la función objetivo, indicando que será maximizada. En “By Changing Variable Cells” se han incluido las celdas correspondientes a las variables de decisión x_1 , x_2 y x_3 , permitiendo que Solver las modifique para encontrar la mejor solución.

En la sección de restricciones se agregaron las condiciones necesarias del modelo: las restricciones de disponibilidad de recursos y la indicación de que las variables deben ser enteras y no negativas. Asimismo, se seleccionó el método de solución *Simplex LP*, que es el adecuado para resolver modelos lineales como el planteado. Esta configuración garantiza que Solver busque la combinación óptima de producción bajo un enfoque completamente lineal.



La tercera imagen muestra la ventana de resultados de Solver después de ejecutar el modelo. En ella se indica que Solver logró encontrar una solución factible que satisface todas las restricciones y cumple con las condiciones de optimalidad. Esto significa que el programa determinó correctamente una combinación de producción que maximiza la función objetivo sin violar la disponibilidad de recursos.

Además, se ofrece la opción de mantener la solución encontrada o restaurar los valores originales. El mensaje en la parte inferior confirma que, al utilizar el método Simplex LP, la solución obtenida corresponde a un óptimo global dentro del espacio factible del problema.



La última imagen muestra los valores óptimos obtenidos por Solver y su interpretación dentro del modelo. Se observa que la función objetivo alcanza un valor de Q117,000, lo que representa el ingreso máximo diario posible bajo las restricciones establecidas. Las variables de decisión adoptan los valores $x_1=180$, $x_2=0$ y $x_3=0$, lo que indica que la producción óptima consiste en fabricar únicamente kits Básicos.

En la parte inferior se visualiza el consumo de cada recurso en la solución óptima. Tanto los paneles solares como las horas de ensamble se utilizan completamente, alcanzando sus límites máximos. Por el contrario, las baterías se consumen parcialmente, reflejando que no son un recurso limitante en este caso. Esta tabla confirma que la solución cumple con todas las restricciones y explica por qué producir kits Básicos es la opción más rentable dentro del sistema planteado.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	Función Objetivo	$Z =$	117000				
3	Variables de Decisión	$x_1 =$	180				
4		$x_2 =$	0				
5		$x_3 =$	0				
6							
7	Restricciones						
8		Kit Básico	Kit Residencial	Kit Profesional	Total	Condición	Limite
9	Paneles Solares	1	2	3	180	Menor o igual que	180
10	Baterias	1	2	4	180	Menor o igual que	260
11	Horas de Ensamble	0.5	0.8	1.2	90	Menor o igual que	90

HOJA DE TRABAJO 1

Resuelva los siguientes problemas utilizando *Solver* de *Excel*, deje indicado el planteo del problema como función objetivo y restricciones de un problema de investigación de operaciones. Indique los valores finales de las variables de decisión y el resultado de la función objetivo.

1. La compañía *WorldLight* produce dos dispositivos para lámparas (productos A y B) que requieren partes de metal y componentes eléctricos. La administración desea determinar cuántas unidades de cada producto debe fabricar para maximizar la ganancia. Por cada unidad del producto A se requieren 1 unidad de partes de metal y 2 unidades de componentes eléctricos. Por cada unidad del producto B se necesitan 3 unidades de partes de metal y 2 unidades de componentes eléctricos. La compañía tiene 200 unidades de partes de metal y 300 de componentes eléctricos. Cada unidad del producto A da una ganancia de Q10 y cada unidad del producto B, hasta 60 unidades, da una ganancia de Q20. La experiencia ha demostrado que fabricar más de 60 unidades del producto produce pérdidas, por lo que fabricar más de esa cantidad está fuera de consideración.
2. *Delidogs* es una planta procesadora de alimentos que fabrica salchichas y pan para *hotdogs*. Muelen su propia harina a una tasa máxima de 200 libras por semana. Cada pan requiere 0.1 libras de harina. Tienen un contrato con *Pigland*, que especifica la entrega de 800 libras de productos de cerdo cada lunes. Cada salchicha requiere 1/4 de libra de producto de cerdo. Se cuenta con suficiente cantidad del resto de los ingredientes de ambos productos. Por último, la mano de obra consiste en 5 empleados de tiempo completo (40 horas por semana por cada empleado). Cada salchicha requiere 3 minutos de trabajo y cada pan 2 minutos de este insumo. Cada salchicha proporciona una ganancia de Q0.80 y cada pan Q0.30. *Delidogs* desea saber cuántas salchichas y cuántos panes debe producir cada semana para lograr la ganancia más alta posible.
3. David, Diana y Lidia son los únicos socios y empleados en una compañía que produce relojes finos. David y Diana pueden trabajar un máximo de 40 horas por semana, mientras que Lidia solo puede trabajar hasta 20 horas por semana. La empresa hace dos tipos de relojes: el reloj de pedestal y el reloj de pared. Para hacer un reloj, David ensambla las partes internas del reloj y Diana produce las cajas de madera labradas a mano. Lidia es responsable de recibir pedidos y enviar los relojes. El tiempo requerido para cada tarea se muestra en la tabla:

Tarea	Tiempo necesario en horas	
	Reloj de pedestal	Reloj de pared
Ensamblar relojes	6	4
Labrar caja de madera	8	4
Enviar	3	3

Cada reloj de pedestal construido y enviado deja una ganancia de Q3 000, mientras que cada reloj de pared proporciona una ganancia de Q2 000. Los socios desean determinar cuántos relojes de cada tipo deben producir por semana.

4. *Show & Sell* puede anunciar sus productos en la radio y la televisión (TV) locales, o en periódicos. El presupuesto de publicidad está limitado a Q100,000 mensuales. Cada minuto de publicidad en radio

cuesta Q150 y cada minuto en TV cuesta Q3000. Un anuncio en el periódico cuesta Q500. A Show & Sell le gusta anunciararse en radio al menos el doble de veces que en TV. Mientras tanto, se recomienda el uso de al menos 5 anuncios en el periódico y no más de 30 minutos de publicidad por radio al mes. La experiencia pasada muestra que la publicidad en TV es 50 veces más efectiva que la publicidad en radio, y 10 veces más efectiva que en periódicos.

5. Gutchi Company fabrica bolsos de mano, bolsas para rasuradora y mochilas. La construcción de los tres productos requiere piel y materiales sintéticos, dado que la piel es la materia prima limitante. El proceso de producción utiliza dos tipos de mano de obra calificada: costura y terminado. La siguiente tabla da la disponibilidad de los recursos, su uso por los tres productos, y los precios por unidad. Determine la mejor combinación de productos para la producción diaria.

Recurso	Requerimiento de recurso por unidad			Disponibilidad diaria
	Bolsa de mano	Bolsa para rasuradora	Mochila	
Piel (m ²)	2.0	1.0	3.0	42
Costura (h)	2.0	1.0	2.0	40
Acabado (h)	1.0	0.5	1.0	45
Precio (Q)	240	220	450	

PRÁCTICA NO. 2

MODELOS DE TRANSPORTE Y ASIGNACIÓN EN EXCEL

1. Propósito de la práctica

- 1.1 Conocer los modelos de transporte y asignación en la investigación de operaciones.
- 1.2 Identificar la estructura de programación lineal para los modelos de transporte y asignación.
- 1.3 Solucionar modelos de transporte y asignación por medio de Excel

2. Marco teórico:

Modelo de transporte: es un caso especial de programación lineal en el que se desea determinar la manera óptima de transportar bienes, sin embargo, podría aplicarse a otras situaciones. Existen orígenes, que podrían ser almacenes o centros de distribución, y destinos, como puntos de venta o clientes. Cada origen puede transportar bienes a cada destino con un costo específico relacionado.

Para poder trabajar estos modelos se deben tener ciertas consideraciones:

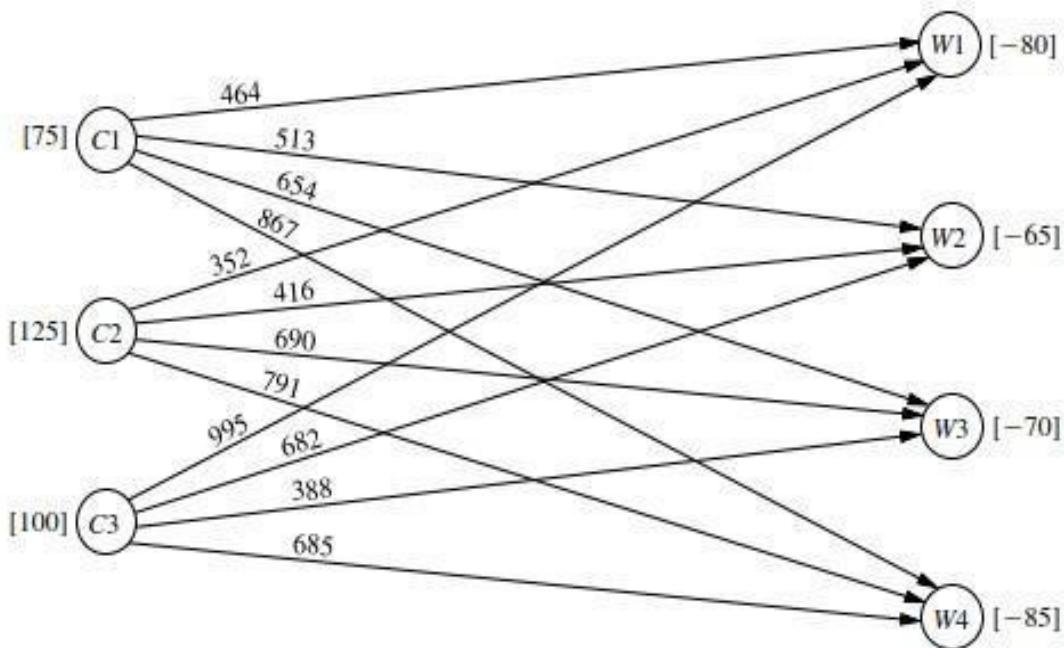
1. Cada origen tiene una cantidad limitada de bienes que ofrece.
2. Cada destino tiene una cantidad limitada de bienes que demanda.
3. A cada relación origen-destino corresponde un costo, el cuál es proporcional al número de unidades distribuidas.
4. El objetivo es transportar todas las unidades de los orígenes a los destinos con el menor costo posible.

Al igual que con los problemas de programación lineal, antes de resolver el problema en *Excel* se debe realizar el planteamiento del problema siguiendo la misma estructura.

Planteamiento del problema de transporte: para demostrar el planteamiento del problema se utilizará un ejemplo, en este caso, se tienen 3 fábricas que proveen productos enlatados a 4 almacenes en Estados Unidos.



Cada posible relación enlatadora-almacén tiene un costo asociado al transporte de los productos entre ambos.



El problema planteado corresponde a un modelo clásico de transporte, en el cual se busca determinar la forma óptima de enviar productos desde varios puntos de origen hacia múltiples destinos, con el propósito de minimizar el costo total de transporte. En este caso particular, se cuenta con tres fábricas enlatadoras (C1, C2 y C3) que deben abastecer a cuatro almacenes (W1, W2, W3 y W4) distribuidos en distintas ciudades de los Estados Unidos. Cada fábrica posee una cantidad limitada de oferta, mientras que cada almacén presenta una demanda específica que debe ser satisfecha completamente. Adicionalmente, cada posible ruta origen–destino tiene asociado un costo de transporte por unidad, lo cual convierte la elección de las cantidades enviadas por cada ruta en la clave para minimizar el gasto total.

1. En la primera parte del proceso se recopila toda la información necesaria del problema: la oferta disponible en cada fábrica (75, 125 y 100 unidades), la demanda requerida en cada almacén (80, 65, 70 y 85 unidades) y los costos por unidad asociados a cada combinación origen–destino. Toda esta información se organiza en una tabla que facilita visualizar de manera conjunta el costo por embarque y las restricciones que el modelo debe cumplir. Esta tabla es fundamental, pues constituye la base para construir la matriz de costos sobre la cual se evaluará la solución óptima mediante Excel Solver.

		Costos por embarque				Oferta
		Almacén	1	2	3	4
Enlatadora	1	464	513	654	867	75
	2	352	416	690	791	125
	3	995	682	388	685	100
Demanda		80	65	70	85	

2. Posteriormente, se elabora una segunda tabla con la misma estructura, pero destinada a contener las variables de decisión, es decir, las unidades que se enviarán desde cada fábrica hacia cada almacén. En un inicio, esta tabla se encuentra llena de ceros, ya que aún no se han calculado los valores óptimos. Sin embargo, los totales de cada fila y columna ya permiten representar las restricciones del modelo: la suma

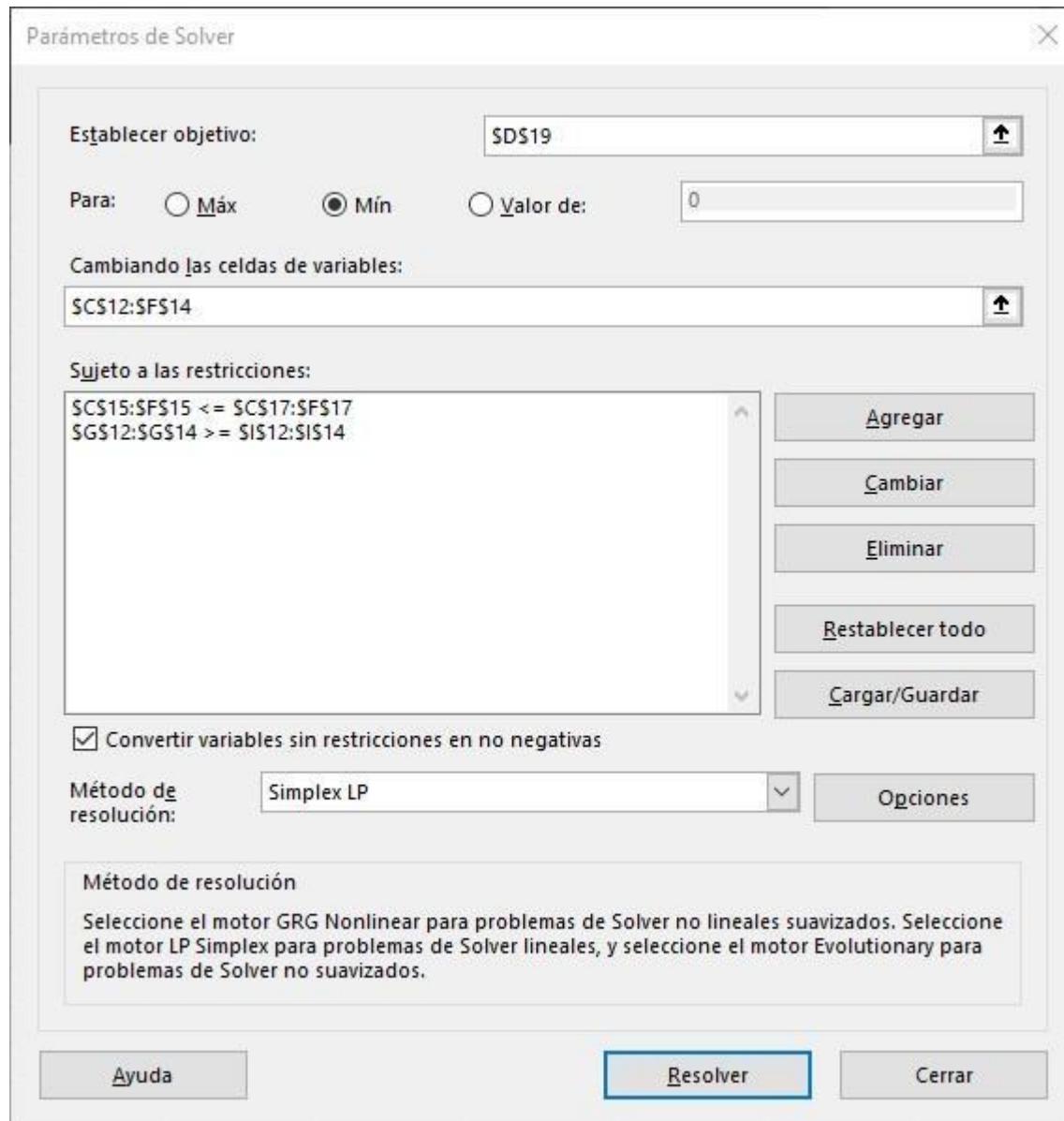
de los envíos desde cada fábrica no puede exceder su oferta, mientras que la suma de los envíos hacia cada almacén debe ser igual a su demanda. Esta matriz de unidades sirve de base para aplicar la función **SUMAPRODUCTO**, que permite calcular automáticamente el costo total del transporte multiplicando los costos por las cantidades enviadas en cada ruta.

		Unidades por embarque				Oferta	Total
		Almacén					
Enlatadora	1	2	3	4			
	1	0	0	0	0	75	= 0
	2	0	0	0	0	125	= 0
	3	0	0	0	0	100	= 0
Demanda		80	65	70	85		
		=	=	=	=		
Total		0	0	0	0		
15							

3. Una vez que ambas tablas están construidas, se procede a utilizar la función **SUMAPRODUCTO** para obtener la expresión de la función objetivo. Esta función multiplica cada celda de la matriz de costos por la correspondiente celda en la matriz de unidades enviadas, y suma todos los productos. El resultado final representa el costo total del sistema de transporte, que es justamente la variable que se desea minimizar. Esta expresión es ingresada como objetivo dentro de Solver, definiéndola como un valor a minimizar.

VNA		=SUMAPRODUCTO(C4:F6;C12:F14)						
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Costos por embarque								
Almacén								
		1	2	3	4	Oferta		
		1	464	513	654	867	75	
Enlatadora		2	352	416	690	791	125	
		3	995	682	388	685	100	
Demanda		80	65	70	85			
Unidades por embarque								
Almacén								
		1	2	3	4	Oferta		Totales
		1	0	0	0	75	= 0	
Enlatadora		2	0	0	0	125	= 0	
		3	0	0	0	100	= 0	
Demanda		80	65	70	85			
		=	=	=	=			
		0	0	0	0			
Costo total			=SUMAPRODUCTO(C4:F6;C12:F14)					

4. El paso siguiente consiste en introducir todas las restricciones necesarias dentro del Solver. En este modelo se incluyen restricciones de no negatividad, de manera que ninguna ruta tenga cantidades negativas; restricciones de demanda, asegurando que cada almacén reciba exactamente la cantidad que necesita; y restricciones de oferta, para evitar que las fábricas envíen más unidades de las que disponen. Estas condiciones aseguran que la solución generada sea factible en términos operativos. Por último, se selecciona el método Simplex LP, el más adecuado para resolver modelos de programación lineal, y se ejecuta la optimización.



Finalmente, Solver proporciona una solución que cumple todas las restricciones y minimiza el costo total. La matriz resultante muestra las unidades que deben enviarse en cada ruta. Por ejemplo, desde la enlatadora C1

se envían 20 unidades al almacén W2 y 55 unidades a W4; desde C2 se envían 80 unidades a W1 y 45 a W2; y desde C3 se envían 70 unidades a W3 y 30 unidades a W4. Al sumar estas cantidades se observa que todas las demandas han sido completamente satisfechas y que ninguna fábrica supera su capacidad disponible. El costo mínimo total del sistema bajo esta configuración es de **Q 152,535.00**, valor que representa la solución óptima del modelo.

		Unidades por embarque				Oferta	Totales
		Almacén					
Enlatadora	1	2	3	4			
	1	0	20	0	55	75	= 75
	2	80	45	0	0	125	= 125
	3	0	0	70	30	100	= 100
Demanda		80	65	70	85		
		=	=	=	=		
		80	65	70	85		
Costo total			Q 152,535.00				

Recuerde siempre redactar una conclusión o proporcionar una respuesta textual explicando el resultado obtenido y no colocar solamente el valor numérico.

Modelo de asignación: este es un tipo especial de problema de programación lineal en el que los asignados son recursos destinados a la realización de tareas. Por ejemplo, asignar trabajadores a puestos o estaciones de trabajo. Para que se considere un problema de asignación se deben cumplir las siguientes condiciones:

1. El número de asignados es igual al número de tareas.
2. Cada asignado se asigna exactamente a una tarea.
3. Cada tarea solo puede realizarse por un asignado.
4. Existe un costo asociado con cada asignado que realiza cada tarea.
5. El objetivo es determinar cómo deben hacerse las asignaciones para minimizar los costos.

La metodología de resolución es similar al problema de transporte, sin embargo, se disponen únicamente de 1 recurso para asignar.

Por ejemplo, una empresa ha decidido iniciar la fabricación de cuatro nuevos productos en tres plantas que por el momento tienen exceso de capacidad de producción. Los productos requieren de un esfuerzo productivo comparable por unidad, por lo que la capacidad de producción disponible en las plantas se mide por el número de unidades de cualquier producto que se pueden fabricar por día, como se muestra en la última columna de la tabla.

		Costos de unitario por producto				Oferta	
		Producto					
Planta	1	2	3	4			
	1	41	27	28	24	75	
	2	40	29	-	23	75	
	3	37	30	27	21	45	
Demanda		20	30	30	40		

Para representar el problema, se construye una tabla de costos unitarios por producto y por planta. En esta tabla se observa que cada planta tiene costos diferentes para producir cada uno de los productos, lo cual genera distintas combinaciones posibles de asignación. El último renglón indica la demanda de unidades de cada producto, que en este caso se iguala a uno por tratarse de un modelo de asignación: solamente se requiere que cada producto sea fabricado por una planta, no que la planta produzca múltiples unidades. De igual manera, la última columna muestra la oferta o capacidad equivalente de cada planta, que se fija igual a uno cuando se desea permitir que cada planta elija un único producto.

Seguidamente se elabora una segunda tabla, con la misma estructura que la anterior, destinada a contener las variables de decisión. Estas variables indican si una planta producirá o no un producto específico y toman valores de 0 o 1. En una fase inicial, la tabla se llena con ceros hasta que Solver determine la combinación óptima. Las restricciones de esta tabla son claras: cada columna debe sumar exactamente uno, garantizando que cada producto sea asignado a una única planta; y cada fila no debe superar la oferta, que se establece también en uno para asegurar que cada planta solo produzca un producto. En conjunto, estas restricciones convierten el problema en un modelo clásico de asignación lineal entera binaria.

		Costos de unitario por producto				Total	Oferta	
		Producto						
Planta	1	2	3	4				
	1	0	0	0	0	0	=	75
	2	0	0	0	0	0	=	75
	3	0	0	0	0	0	=	45
Total		0	0	0	0			
		=	=	=	=			
Demanda		1	1	1	1			

Para calcular el costo total asociado a cualquier combinación, se utiliza en Excel la función **SUMAPRODUCTO**, que permite multiplicar cada costo unitario por la correspondiente variable de decisión (0 o 1) y luego sumar todos los productos. De esta manera, SUMAPRODUCTO genera automáticamente el costo total del plan de asignación. Como se desea minimizar los gastos de fabricación, esta expresión se establece como la función objetivo dentro de Solver.

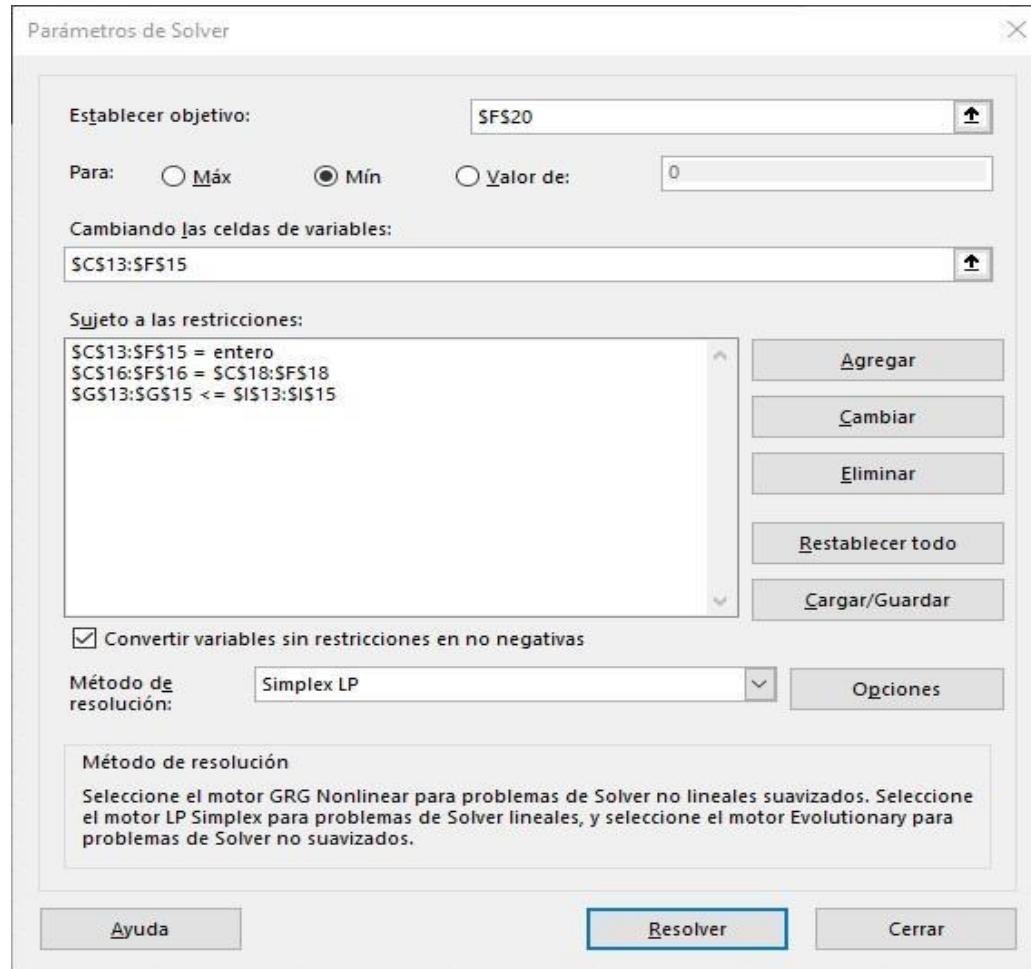
VNA

=SUMAPRODUCTO((C8:F8)*(C5:F7);(C13:F15))

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2			Costos de unitario por producto						
3			Producto						
4			1	2	3	4			Oferta
Planta	1	41	27	28	24			75	
	2	40	29	10000000	23			75	
	3	37	30	27	21			45	
8	Demanda	20	30	30	40				
9									
10			Costos de unitario por producto						
11			Producto						
12			1	2	3	4	Total		Oferta
Planta	1	0	1	1	0		60	=	75
	2	1	0	0	0		20	=	75
	3	0	0	0	1		40	=	45
16	Total	1	1	1	1				
17		=	=	=	=				
18	Demanda	1	1	1	1				
19									
20			Costos totales			=SUMAPRODUCTO((C8:F8)*(C5:F7);(C13:F15))			

Es importante notar que la planta 2 no puede fabricar el producto 3, lo que se representa asignándole un costo extremadamente alto —en este caso, diez millones— en la tabla de costos. Esta técnica garantiza que Solver descarte cualquier solución en la que la planta 2 sea asignada al producto 3, ya que sería económicamente inviable. Este recurso es común en modelos de asignación para evitar combinaciones no permitidas sin necesidad de introducir restricciones adicionales.

Una vez elaboradas ambas tablas, se procede a configurar Solver. Se indica que las celdas variables corresponden a la matriz de unidades (los ceros y unos), se establece la función objetivo como mínimo y se ingresan todas las restricciones necesarias. Entre estas se incluyen: la igualdad exacta entre la demanda y la suma de cada columna, el límite máximo de la oferta por planta, y la condición de que todas las variables sean enteras y binarias. Se selecciona el método Simplex LP para resolver el modelo, dado que se trata de un problema lineal, y finalmente se ejecuta Solver.



En el ejemplo anterior, la solución proporcionada por *Solver* es:

	1	2	3	4	Total	Oferta
Planta 1	0	1	1	0	60	= 75
Planta 2	1	0	0	0	20	= 75
Planta 3	0	0	0	1	40	= 45
Total	1	1	1	1		
	=	=	=	=		
Demanda	1	1	1	1		
Costos totales					Q 3,290.00	

Solver obtiene una solución factible y de costo mínimo. Según el resultado, la planta 1 trabajará los productos 2 y 3; la planta 2 será asignada al producto 1; y la planta 3 fabricará el producto 4. El costo total resultante es de **Q 3,290.00**, lo cual representa la mejor combinación posible dadas las restricciones técnicas y de costo. Del lado derecho de la tabla se observa también que aún queda capacidad disponible en todas las plantas, lo que indica que la empresa tiene margen para aumentar su producción o incorporar nuevos productos en el futuro.

HOJA DE TRABAJO 2

Resuelva los siguientes problemas utilizando *Solver* de *Excel*, deje indicado el planteo del problema como función objetivo y restricciones de un problema de investigación de operaciones. Indique los valores finales de las variables de decisión y el resultado de la función objetivo.

1. Tres centros de distribución envían automóviles a cinco concesionarios (venta de vehículos). El costo de envío depende de la distancia en kilómetros entre los orígenes y los destinos, y es independiente de si el camión hace el viaje con cargas parciales o completas. La tabla siguiente resume la distancia en kilómetros entre los centros de distribución y los concesionarios junto con las cifras de oferta y demanda mensuales dadas en número de automóviles. Una carga completa comprende 10 automóviles. El costo de transporte por kilómetro recorrido es de Q5. Determine el programa mensual de envíos óptimo.

		Distancia en km entre centros y concesionarios					Oferta de vehículos
		Concesionario					
Centro	1	1	2	3	4	5	400
		100	150	200	140	35	
	2	50	70	60	65	80	200
Centro	3	40	90	100	150	130	150
	Demanda de vehículos	100	200	150	160	140	

2. Una empresa que fabrica un solo producto tiene tres plantas y cuatro clientes principales. Las plantas respectivas podrán producir 60, 80 y 40 unidades, durante el siguiente periodo. La empresa se ha comprometido a vender exactamente 40 unidades al cliente 1 y 60 unidades al cliente 2. Por otra parte, tanto el cliente 3 como el 4 deseen comprar tantas unidades como sea posible de las restantes, sin embargo, la empresa ya se ha comprometido a vender por lo menos 20 unidades al cliente 3. La ganancia neta asociada con el envío de una unidad de cada planta a cada cliente está dada en la tabla. La administración desea saber cuántas unidades debe vender a los clientes 3 y 4, y cuántas unidades conviene enviar de cada planta a cada cliente, para maximizar la ganancia.

		Ganancia neta de la venta unitaria en GTQ			
		Cliente			
Planta	1	1	2	3	4
		800	700	500	200
		500	200	100	300
		600	400	300	500

3. Una empresa necesita asignar 4 trabajos a 5 proveedores. El costo de realizar un trabajo depende de los proveedores, para esto se han solicitado cotizaciones. La tabla resume el costo de las asignaciones. La empresa 1 no puede realizar el trabajo 3 y 4, y la empresa 3 no puede realizar el trabajo 4. Determine la asignación óptima de estos trabajos a las empresas proveedoras, una de ellas no recibirá pedido. Cada empresa solo puede realizar un trabajo.

		Costo del trabajo en miles de quetzales				
		Proveedor				
		1	2	3	4	5
Trabajo	1	18	17	-	-	16
	2	25	32	21	23	30
	3	16	24	32	-	15
	4	19	17	20	22	23

4. Tres plantas procesadoras de alimentos refrigerados abastecen a cuatro supermercados regionales. Dado que el producto debe transportarse en camiones refrigerados, el costo de envío depende directamente de los kilómetros recorridos entre cada planta y cada supermercado. La empresa paga Q7 por kilómetro recorrido sin importar si el camión transporta carga parcial o completa. Cada camión tiene capacidad para 8 toneladas, y toda la demanda debe ser satisfecha.

Las distancias entre cada planta y cada supermercado son las siguientes:

- Desde Planta A: 120 km al Supermercado 1, 180 km al 2, 140 km al 3 y 200 km al 4.
- Desde Planta B: 150 km al Supermercado 1, 90 km al 2, 160 km al 3 y 130 km al 4.
- Desde Planta C: 80 km al Supermercado 1, 110 km al 2, 100 km al 3 y 170 km al 4.

La oferta mensual de las plantas es:

- Planta A: 320 toneladas
- Planta B: 250 toneladas
- Planta C: 180 toneladas

La demanda de los supermercados es:

- Supermercado 1: 210 toneladas
- Supermercado 2: 190 toneladas
- Supermercado 3: 180 toneladas
- Supermercado 4: 170 toneladas

Determine, usando Solver, el programa óptimo de envíos que minimice el costo total de transporte.

PRÁCTICA NO. 3

MÉTODO DE LA RUTA CRÍTICA

1. Propósito de la práctica:

- 1.1 Conocer la metodología de la ruta crítica para la toma de decisiones en proyectos.
- 1.2 Aplicar la consideración entre tiempo y costo para la aceleración de proyectos.

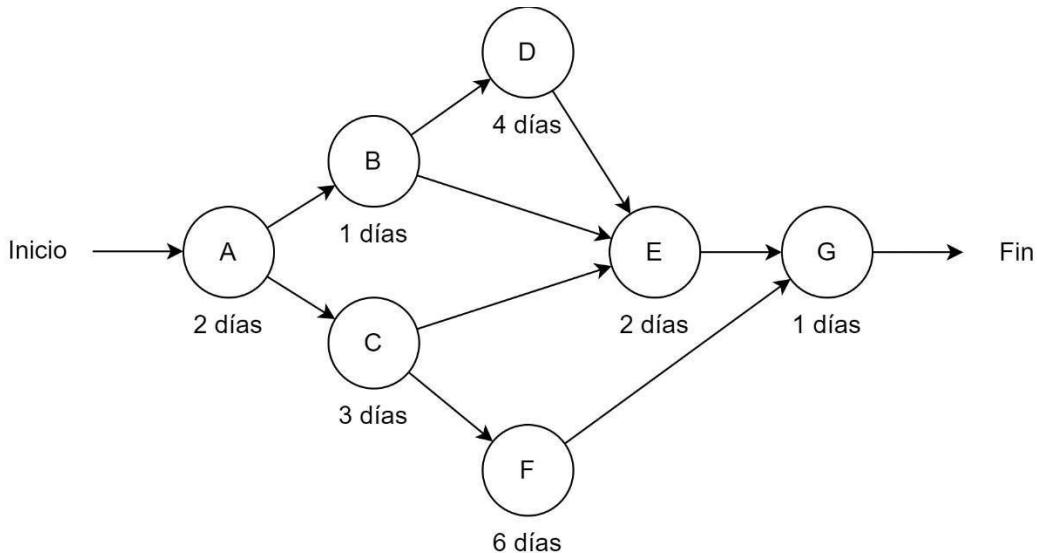
2. Marco Teórico:

Proyecto: es una planificación y ejecución de un conjunto de actividades, que se encuentran interrelacionadas y coordinadas, con el fin de alcanzar resultados específicos.

Proyecto determinista: es un tipo de proyecto donde las variables toman valores muy certos, por ejemplo, la duración de una actividad.

Red de proyecto: es una red utilizada para representar un proyecto. Consiste en un cierto número de nodos, arcos o flechas que se utilizan para indicar las actividades y las relaciones entre ellas. Para construir una red de proyecto se necesita la siguiente información.

1. Información de la actividad.
2. Relaciones de dependencia para identificar las actividades con predecesores inmediatos.
3. Datos de tiempo, la estimación de la duración de cada actividad.



La red anterior es una forma conveniente de visualizar proyectos pequeños, conforme aumenta el tamaño y la complejidad de estos es preferible utilizar otras formas de analizarlos. De la figura anterior, se entiende que la actividad A puede iniciar en el momento que da inicio el proyecto. Las actividades B, C, D, E y F deben esperar a que se finalicen las actividades anteriores según su orden en la red para poder comenzar, por tanto, la fecha de inicio de C depende de la fecha en que finalice A. La actividad G únicamente cuenta con predecesores, por tanto, al finalizar esta se termina esa rama de la red de proyecto, si es la última en proceso, esta da fin al proyecto también. La red de proyecto anterior puede colocarse en forma de tabla:

Proyecto		
Actividad	Duración en días	Predecesores
A	2	
B	1	A
C	3	A
D	4	B
E	2	CBD
F	6	C
G	1	EF

Trayectoria: una trayectoria a través de una red de proyecto es una de las secuencias de actividades que se pueden seguir desde el inicio hasta el final, sin retroceder en el tiempo del desarrollo del proyecto.

Longitud: la longitud de una trayectoria es la suma de las duraciones estimadas de las actividades en la trayectoria. La duración del proyecto estimada es igual a la longitud de la trayectoria más larga a través de la red de proyecto. Esta trayectoria se llama **ruta crítica**.

Siguiendo con el ejemplo del proyecto planteado, existen cuatro posibles secuencias de actividades.

Trayectoria	Longitud
ABDEG	10 días
ABEG	6 días
ACEG	8 días
ACFG	12 días

En el ejemplo anterior, la secuencia de actividades ACFG es la ruta crítica y, por tanto, el proyecto propuesto tendrá una duración de 12 días. Algunas características de la ruta crítica son:

- Las actividades de esta ruta se pueden realizar sin interrupción.
- Las actividades en la ruta crítica son las actividades “cuello de botella” en las que debe evitarse cualquier demora en su terminación para evitar que el proyecto se atrase.
- Si se decide reducir la duración del proyecto estas son las principales actividades donde debe hacerse cambios para reducir sus duraciones.

Programación de las actividades individuales: si no se tienen demoras en las actividades, entonces:

1. La duración real de cada actividad resulta ser la misma que su duración estimada.
2. Cada actividad inicia en cuanto todos sus predecesores terminan.

Con las condiciones anteriores, entonces se crean una serie de variables de tiempo:

- IC: tiempo de inicio más cercano para una actividad.
- TC: tiempo de finalización más cercano para una actividad.

Donde $TC = IC + \text{duración de la actividad}$.

Si una actividad tiene un solo predecesor inmediato, entonces el tiempo de inicio de la actividad será el tiempo de finalización del predecesor. Si una actividad tiene varios predecesores, se tomará el tiempo de inicio más tardío de las posibles opciones.

Adicional, se consideran también:

- IL: tiempo de inicio más lejano para una actividad.
- TL: Tiempo de finalización más lejano para una actividad.

Donde $IL = TL - \text{duración de la actividad}$.

El tiempo más lejano de una actividad para su terminación es igual al menor de los tiempos de inicio más lejano de sus sucesores inmediatos.

Identificación de holguras: los tiempos de inicio y finalización más cercanos representan los tiempos en los que se llevarían a cabo las actividades si no ocurren retrasos y no se espera para iniciar cada una. Los tiempos más lejanos son los tiempos más tardíos en los que es posible comenzar y terminar una actividad sin afectar ni retrasar la terminación del proyecto.

La holgura para una actividad es la diferencia entre su tiempo de inicio o finalización más lejano con el respectivo valor más cercano.

$$\text{Holgura} = TL - TC = IL - IC$$

Este es el tiempo de holgura del cuál dispone una actividad. Cada actividad con holgura cero está en una ruta crítica de la red de proyecto, de tal manera que cualquier retraso a lo largo de esta ruta retrasará la terminación del proyecto. Siguiendo con el ejemplo anterior:

Proyecto								
Actividad	Duración en días	Predecesores	IC en días	TC en días	IL en días	TL en días	Holgura en días	Parte de la ruta crítica
A	2		0	2	0	2	0	Sí
B	1	A	2	3	4	5	2	No
C	3	A	2	5	2	5	0	Sí
D	4	B	3	7	5	9	2	No
E	2	CBD	7	9	9	11	2	No
F	6	C	5	11	5	11	0	Sí
G	1	EF	11	12	11	12	0	Sí

Lo anterior coincide con el resultado obtenido al evaluar todas las posibles rutas por separado. También, significa que las actividades B, D y E podrían retrasarse dos días cada una y el proyecto siempre terminará en el día 12. También, no tendría sentido realizar esfuerzos para acelerar las actividades con holgura, debido a que no afectarán a la fecha de finalización del proyecto.

Consideración del trueque entre tiempo y costo: la aceleración o quiebre de una actividad se refiere a tomar medidas especiales costosas para reducir la duración de una actividad a menos de su valor normal. Estas medidas especiales incluyen el uso de horas extra, contratación temporal, uso de materiales o maquinaria especial, etc. La aceleración o trueque de un proyecto se refiere a acelerar cierto número de actividades para reducir la duración total del proyecto a menos de su valor normal.

Para analizar estas opciones se utiliza el método de la ruta crítica o CPM por sus siglas en inglés. Como una aproximación, el CPM supone que los tiempos y costos se pueden predecir de manera confiable sin incertidumbre significativa.

Cabe destacar que no es conveniente acelerar las actividades si no existe un algún beneficio específico, como recibir un bono o evitar una multa, dado que supone un costo adicional. Tampoco es conveniente acelerar todas las actividades.

Análisis del costo marginal: es una forma de determinar la forma menos costosa de reducir la duración de un proyecto por una unidad de tiempo a la vez.

Primero, se debe determinar el costo marginal de acelerar cada actividad, esto es:

$$\text{Costo marginal} = \text{diferencia entre costos} / \text{reducción de tiempo}$$

Entonces, para cada actividad relevante se deben identificar los costos de acelerar la actividad y el tiempo máximo, esta información forma parte de las condiciones del problema y se conocen por experiencia o análisis de la situación particular. Continuando con el ejemplo anterior:

Proyecto							
Actividad	Duración en días	Predecesores	Holgura en días	Duración al acelerar	Costo de acelerar la actividad	Costo normal de la actividad	Costo marginal (GTQ/día)
A	2		0	1	Q 18,000.00	Q 14,400.00	Q 3,600.00
B	1	A	2	1		Q 16,000.00	
C	3	A	0	2	Q 20,000.00	Q 16,000.00	Q 4,000.00
D	4	B	2	3	Q 35,000.00	Q 28,000.00	Q 7,000.00
E	2	CBD	2	1	Q 30,000.00	Q 24,000.00	Q 6,000.00
F	6	C	0	2	Q 22,000.00	Q 17,600.00	Q 1,100.00
G	1	EF	0	1		Q 23,000.00	

Es de observar que las actividades B y G no se pueden acelerar. A continuación, de las actividades que forman parte de la ruta crítica, se selecciona la que tenga el menor costo marginal y se reduce su duración en una unidad de tiempo. Una vez realizado esto, se analiza los cambios temporales en las demás rutas.

Se continúa hasta acelerar la actividad al máximo posible y se continúa con la siguiente actividad con el menor costo marginal. Se detiene el proceso al alcanzar el tiempo deseado.

Acelerando F en 1 día, costo de aceleración Q 1,100.00:

Proyecto								
Actividad	Duración en días	Predecesores	IC en días	TC en días	IL en días	TL en días	Holgura en días	Parte de la ruta crítica
A	2		0	2	0	2	0	Sí
B	1	A	2	3	3	4	1	No
C	3	A	2	5	2	5	0	Sí
D	4	B	3	7	4	8	1	No
E	2	CBD	7	9	8	10	1	No
F	5	C	5	10	5	10	0	Sí
G	1	EF	10	11	10	11	0	Sí

Como resultado de acelerar F en 1 día, se ha reducido la holgura de las demás actividades, adicional a esto, ahora la duración del proyecto es de 11 días. Acelerando F nuevamente, costo de aceleración Q 2,200.00.

Actividad	Duración en días	Predecesores	IC en días	TC en días	IL en días	TL en días	Holgura en días	Parte de la ruta crítica
A	2		0	2	0	2	0	Sí
B	1	A	2	3	2	3	0	Sí
C	3	A	2	5	2	5	0	Sí
D	4	B	3	7	3	7	0	Sí
E	2	CBD	7	9	7	9	0	Sí
F	4	C	5	9	5	9	0	Sí
G	1	EF	9	10	9	10	0	Sí

Ahora todas las actividades forman parte de la ruta crítica, esto significa que no pueden existir ningún tipo de retrasos. Sin embargo, por un costo total de Q 2,200.00 se puede reducir la duración del proyecto en 2 días. Nuevamente, debe existir un propósito al reducir la duración del proyecto. Si se intenta reducir nuevamente la actividad F en un día más, ocurre que las holguras, como están planteadas, presentan valores negativos.

Actividad	Duración en días	Predecesores	IC en días	TC en días	IL en días	TL en días	Holgura en días	Parte de la ruta crítica
A	2		0	2	0	2	0	
B	1	A	2	3	1	2	-1	
C	3	A	2	5	2	5	0	
D	4	B	3	7	2	6	-1	
E	2	CBD	7	9	6	8	-1	
F	3	C	5	8	5	8	0	
G	1	EF	8	9	8	9	0	

Esto ocurre porque ahora el tiempo de inicio más cercano para la actividad G ha cambiado, ahora es la actividad E la que limita la finalización del proyecto, por tanto, se debe corregir esto para eliminar los valores negativos. También la actividad A debe cambiar su tiempo más lejano de terminación. Corregidos los tiempos de las actividades A y G, ahora se observan los valores reales. Se recomienda utilizar las funciones de MAX y MIN para no encontrar esta dificultad.

Actividad	Duración en días	Predecesores	IC en días	TC en días	IL en días	TL en días	Holgura en días	Parte de la ruta crítica
A	2		0	2	0	2	0	Sí
B	1	A	2	3	2	3	0	Sí
C	3	A	2	5	3	6	1	No
D	4	B	3	7	3	7	0	Sí
E	2	CBD	7	9	7	9	0	Sí
F	3	C	5	8	6	9	1	No
G	1	EF	9	10	9	10	0	Sí

Al acelerar F en el paso anterior no se redujeron los días de duración del proyecto, sin embargo, se añadió holgura a algunas actividades, esto significa que para reducir un día de la duración total del proyecto es necesario reducir otra actividad aparte de la actividad F. Ahora acelerando la actividad A, por un costo marginal acumulado de $Q 3,300 + Q 3,600 = Q 6,900$.

Actividad	Duración en días	Predecesores	IC en días	TC en días	IL en días	TL en días	Holgura en días	Parte de la ruta crítica
A	1		0	1	0	1	0	Sí
B	1	A	1	2	1	2	0	Sí
C	3	A	1	4	2	5	1	No
D	4	B	2	6	2	6	0	Sí
E	2	CBD	6	8	6	8	0	Sí
F	3	C	4	7	5	8	1	No
G	1	EF	8	9	8	9	0	Sí

Ahora sí se ha logrado reducir un día adicional al proyecto, no obstante, los costos de reducción para lograr este cambio fueron sustancialmente mayores respecto a los primeros días. Por un total de Q 6,900.00 adicionales, es posible reducir la duración de este proyecto en 3 días, considerando los costos normales y los costos marginales de las actividades, esto representa un aumento del 5.0% en los costos del proyecto.

Aceleración de proyectos: guía simplificada

1. Calcular la ruta crítica.
 - Es la ruta que determina la duración total del proyecto.
2. Identificar actividades de la ruta crítica con posibilidad de reducir tiempo.
3. Calcular el costo marginal de cada actividad

$$\text{Costo Marginal} = \frac{\text{Costo Acelerado} - \text{Costo Normal}}{\text{Reducción posible de días}}$$

4. Seleccionar primero la actividad con menor costo marginal dentro de la ruta crítica.
5. Acelerar 1 día y recalcular tiempos (IC, TC, IL, TL).
- Si surge una nueva ruta crítica más larga, se debe considerar también.
6. Continuar acelerando mientras:
 - el proyecto aún no alcanza la duración requerida,
 - existan actividades acelerables,
 - el costo no exceda el beneficio esperado.
7. Detener la aceleración cuando:
 - se llega al tiempo objetivo,
 - todas las actividades críticas están aceleradas al máximo,
 - acelerar ya no reduce tiempo (por rutas múltiples),
 - El costo marginal deja de ser justificable.

HOJA DE TRABAJO 3

Utilizando *Excel*, realice los siguientes ejercicios:

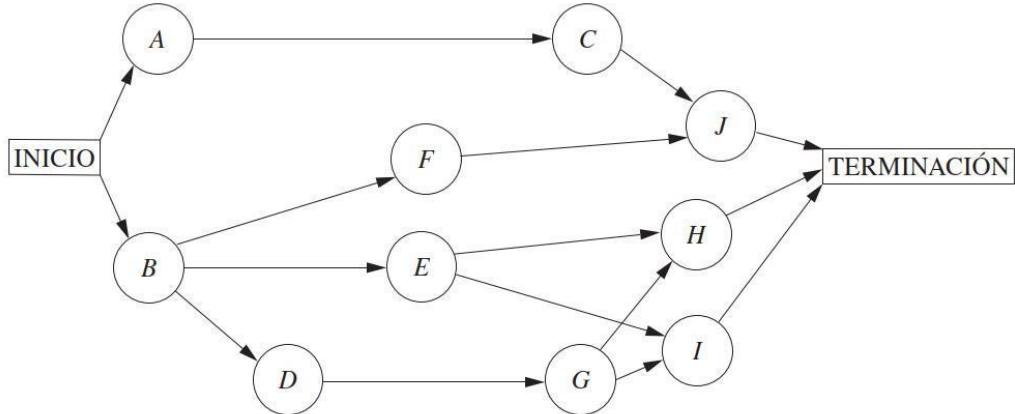
Una constructora acaba de ganar una licitación de 6.4 millones de quetzales para construir una nueva planta para un fabricante importante. El dueño de la empresa necesita que la planta esté en operación en 40 semanas. La empresa ha asignado este proyecto a su mejor director de operaciones, usted, para asegurar que se complete a tiempo. Usted debe hacer los arreglos para que cierto número de equipos realicen las distintas actividades de construcción en diferentes tiempos. En la tabla se muestra la lista de actividades, la información de la duración de las actividades y de los costos son valores de referencia que se manejan dentro de la constructora, al realizar la obra es de esperar que varíen.

Actividad	Descripción de la actividad	Predecesores	Duración normal	Duración acelerada	Costo normal	Costo acelerado
A	Excavación	—	2 semanas	1 semanas	Q180,000.00	Q280,000.00
B	Colocar los cimientos	A	4 semanas	2 semanas	Q320,000.00	Q420,000.00
C	Levantar paredes	B	10 semanas	7 semanas	Q620,000.00	Q860,000.00
D	Colocar el techo	C	6 semanas	4 semanas	Q260,000.00	Q340,000.00
E	Instalar la plomería exterior	C	4 semanas	3 semanas	Q410,000.00	Q570,000.00
F	Instalar la plomería interior	E	5 semanas	3 semanas	Q180,000.00	Q260,000.00
G	Aplanados exteriores	D	7 semanas	4 semanas	Q900,000.00	Q1,020,000.00
H	Pintura exterior	E, G	9 semanas	6 semanas	Q200,000.00	Q380,000.00
I	Instalar el cableado eléctrico	C	7 semanas	5 semanas	Q210,000.00	Q270,000.00
J	Aplanados interiores	F, I	8 semanas	6 semanas	Q430,000.00	Q490,000.00
K	Colocar pisos	J	4 semanas	3 semanas	Q160,000.00	Q200,000.00
L	Pintura interior	J	5 semanas	3 semanas	Q250,000.00	Q350,000.00
M	Colocar accesorios exteriores	H	2 semanas	1 semanas	Q100,000.00	Q200,000.00
N	Colocar accesorios interiores	K, L	6 semanas	3 semanas	Q330,000.00	Q510,000.00

Determine:

1. Las actividades de la ruta crítica antes de acelerar el proyecto.
2. La duración del proyecto sin acelerar los tiempos.
3. Las actividades que deben ser aceleradas para cumplir con el objetivo de 40 semanas.
4. La nueva ruta crítica del proyecto luego de acelerarlo.
5. El costo de acelerar el proyecto para cumplir el tiempo de entrega.
6. La utilidad bruta que queda del proyecto si se cumple el tiempo de entrega de 40 semanas.
7. Si se desea realizar el proyecto manteniendo una utilidad bruta de 1.0 millones de quetzales, ¿cuánto tiempo máximo puede reducirse el proyecto?

Usted cuenta con una compañía de asesoría en sistemas de gestión de clientes para empresas. La compañía Alimentos Frescos S.A., una importante empresa del sector, está lista para comenzar un proyecto cuyo objetivo es desarrollar sistema de gestión de calidad para la producción de alimentos y ha solicitado la asesoría de su empresa. El contrato de la compañía con Alimentos Frescos S.A. impone la conclusión del proyecto en 92 semanas, con una penalización impuesta por la entrega atrasada del proyecto, esta de un valor de Q200,000. El proyecto incluye 10 actividades (etiquetadas A, B, . . . , J), donde sus relaciones de precedencia se muestran en la red de proyecto siguiente:



La administración desearía evitar las duras penalizaciones impuestas por no cumplir con la fecha límite establecida en el contrato. Por tanto, ha considerado acelerar el proyecto; use el método CPM de trueques entre tiempo y costo para determinar cómo hacerlo en la forma más económica. Los datos que se necesita para aplicar este método se proporcionan a continuación.

Código	Actividad	Duración normal	Duración acelerada	Costo normal	Costo de acelerar
A	Definición de objetivos	32 días	28 días	Q160,000.00	Q180,000.00
B	Análisis de requisitos	28 días	25 días	Q125,000.00	Q146,000.00
C	Selección de plataforma	36 días	31 días	Q170,000.00	Q210,000.00
D	Diseño del sistema	16 días	13 días	Q60,000.00	Q72,000.00
E	Desarrollo del prototipo	32 días	27 días	Q135,000.00	Q160,000.00
F	Desarrollo del sistema	54 días	47 días	Q215,000.00	Q257,000.00
G	Pruebas unitarias y de integración	17 días	15 días	Q90,000.00	Q96,000.00
H	Capacitación del personal	20 días	17 días	Q120,000.00	Q132,000.00
I	Implementación en producción	34 días	30 días	Q190,000.00	Q226,000.00
J	Monitoreo y validación	18 días	16 días	Q80,000.00	Q84,000.00

Determine:

1. Las actividades de la ruta crítica antes de acelerar el proyecto.
2. La duración del proyecto sin acelerar los tiempos.
3. Las actividades que deben ser aceleradas para cumplir con el objetivo de 92 semanas.
4. La nueva ruta crítica del proyecto luego de acelerarlo.
5. El costo de acelerar el proyecto para cumplir el tiempo de entrega.
6. Considerando la multa de Q200,000. ¿Vale la pena acelerar el proyecto?

PRÁCTICA 4

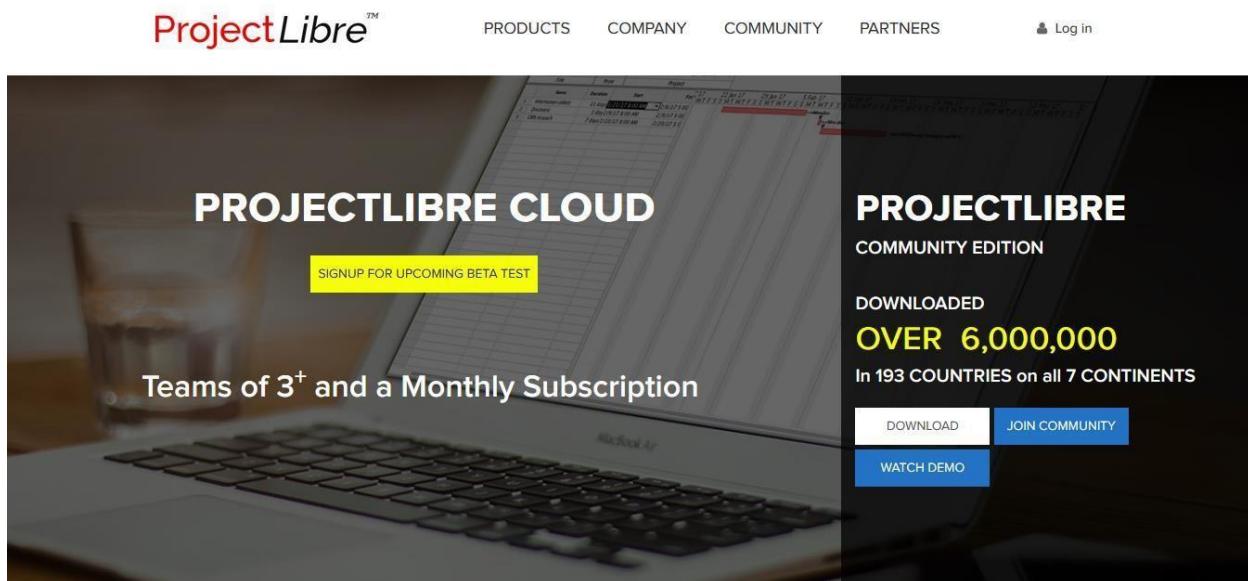
SOFTWARE PARA GESTIÓN DE PROYECTOS

1. Propósito de la práctica:

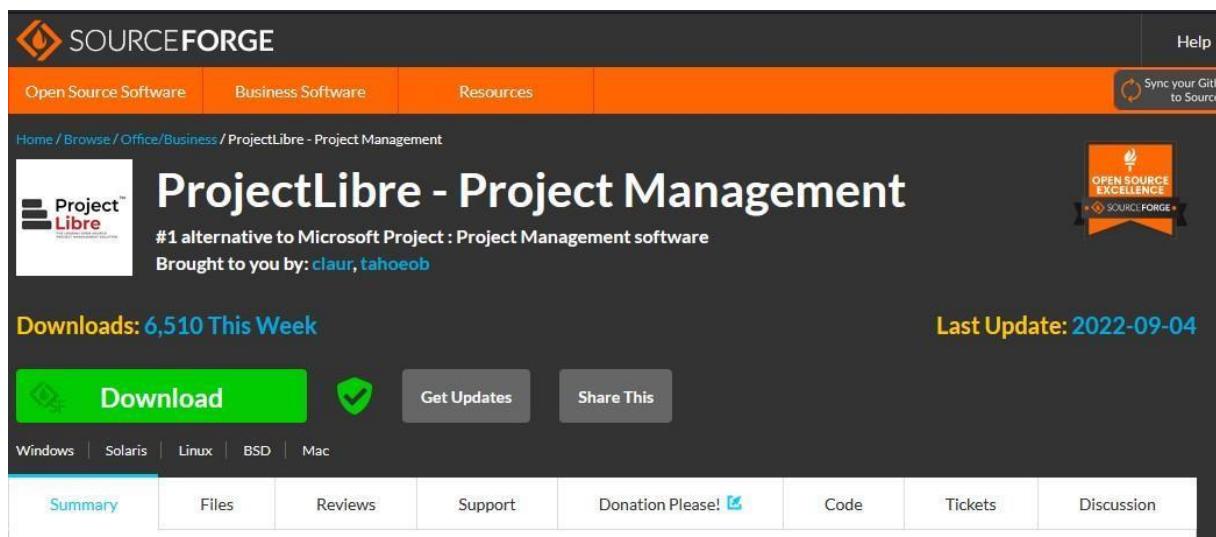
- 1.1. Conocer un software para la gestión de proyectos.
- 1.2. Aplicar los conocimientos aprendidos en una plataforma digital.

2. Marco Teórico:

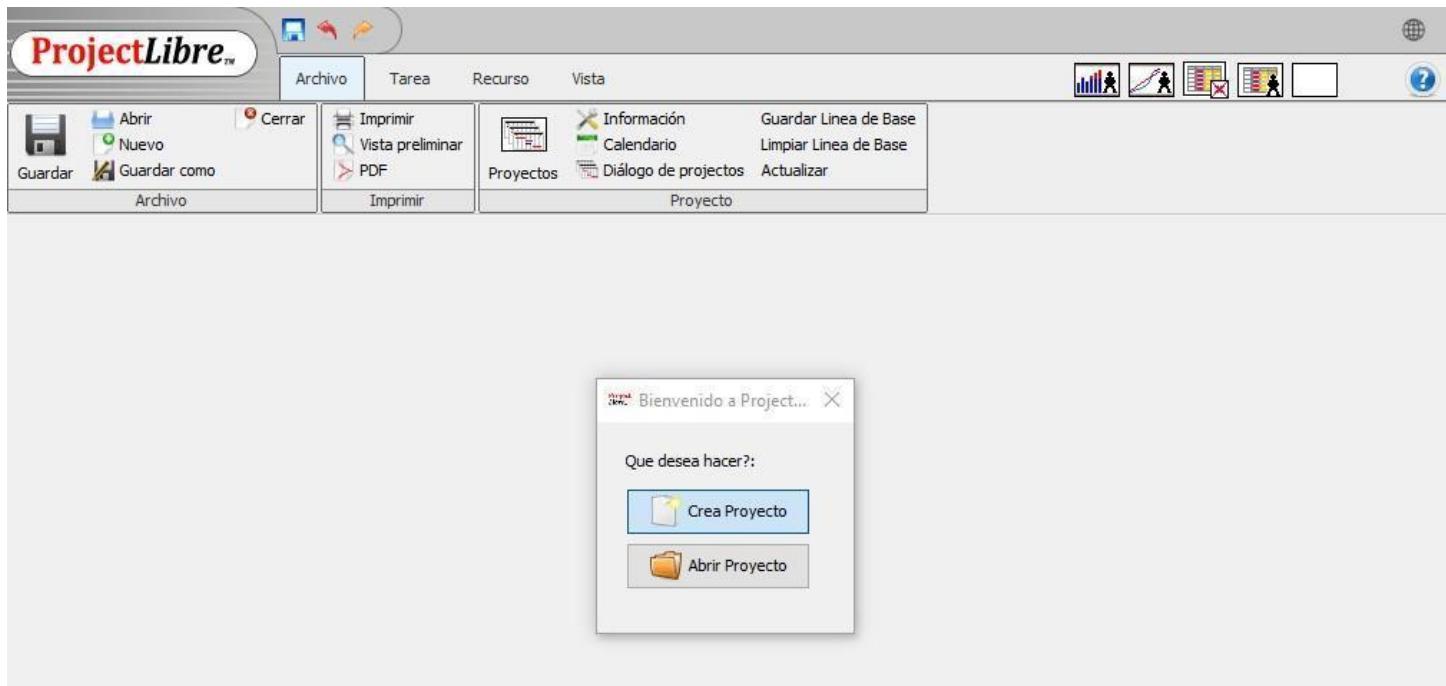
Project libre: es una alternativa libre y gratuita a *Microsoft Project*, a pesar de esto cuenta con lo necesario para la adecuada gestión de proyectos. Para instalarlo se debe acceder al sitio web: www.projectlibre.com O bien, buscar “project libre” en cualquier navegador.



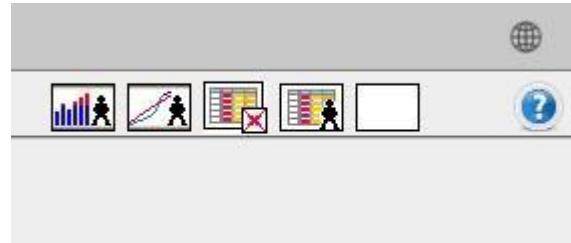
Al presionar “Download” se descargará el instalador en una nueva página:



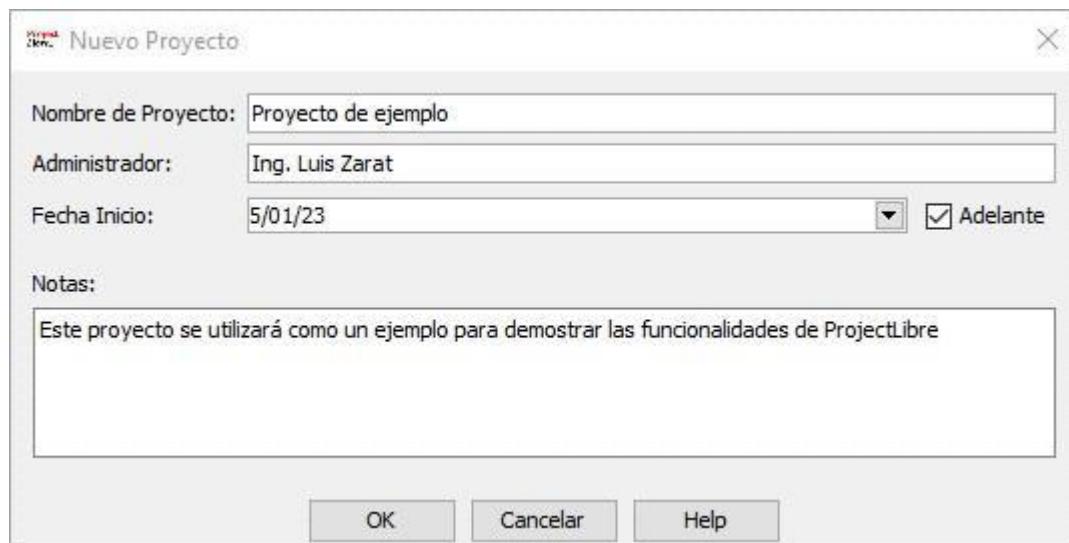
Una vez instalado, al iniciar el programa se presentará la siguiente pantalla:



Si el programa aparece en inglés, se puede cambiar el idioma al presionar el ícono de mundo en la esquina superior derecha.

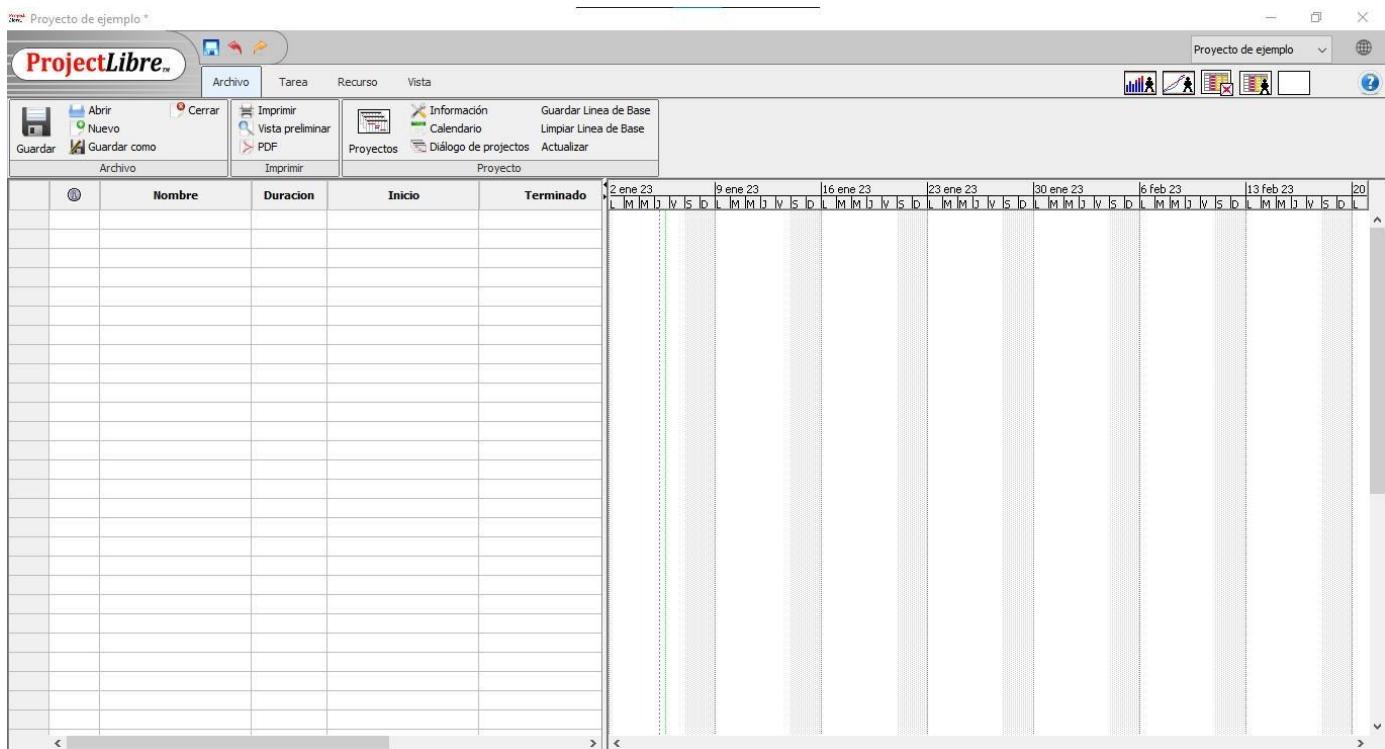


Al seleccionar "Crea Proyecto" se solicita información básica de este:



La casilla “Adelante” indica si el proyecto se planifica a partir de la fecha de inicio hacia el futuro, o desde una fecha de terminación hacia atrás.

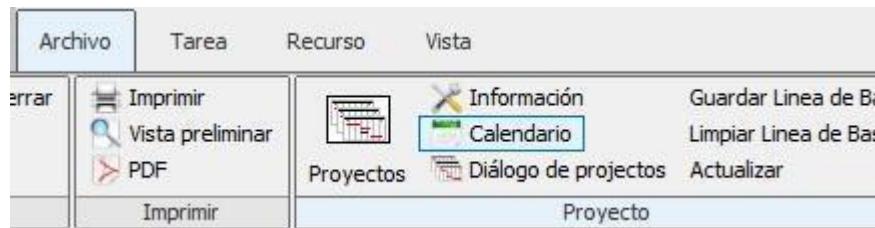
Una vez ingresada esta información, se puede empezar a trabajar el contenido del proyecto:



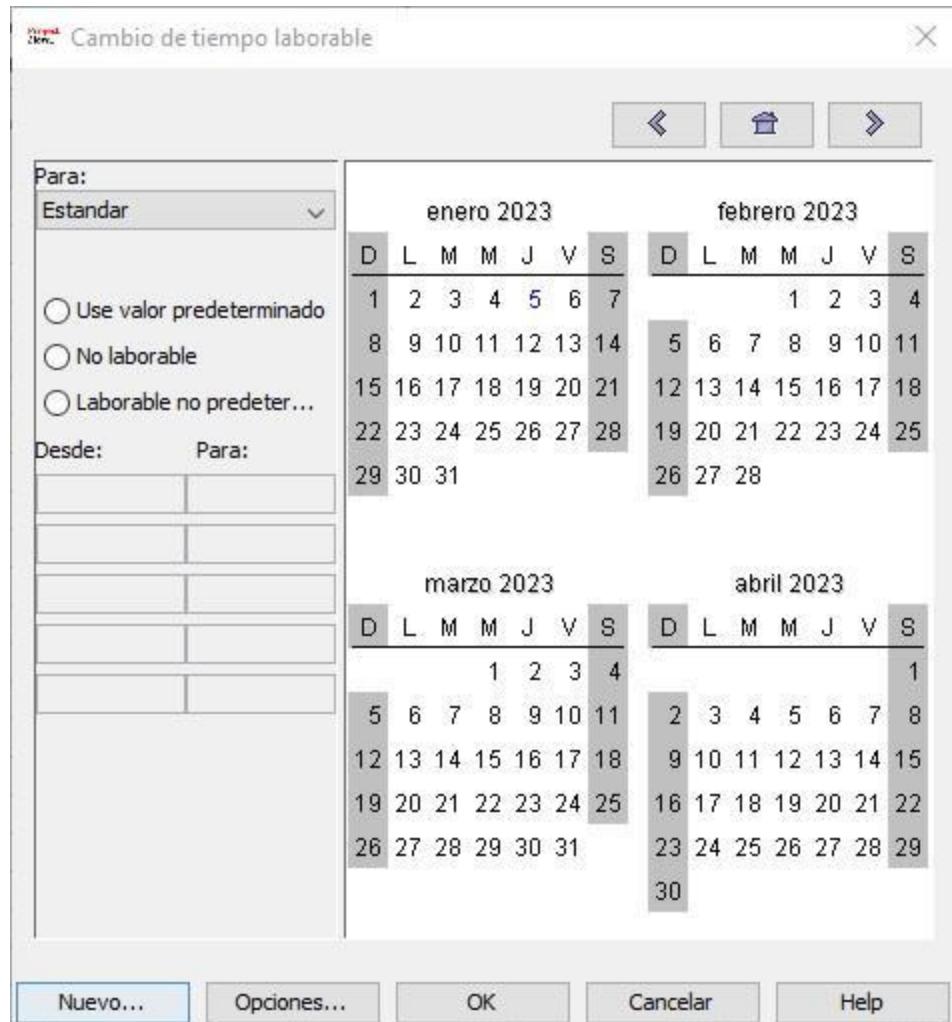
El espacio de la izquierda se utiliza para ingresar la información relevante a las actividades que se van a planificar, el espacio de la derecha es una línea de tiempo en forma de diagrama de Gantt. Se utilizará el proyecto del ejemplo de la práctica 3.

Actividad	Duración en días	Predecesores
A	2	
B	1	A
C	3	A
D	4	B
E	2	CBD
F	6	C
G	1	EF

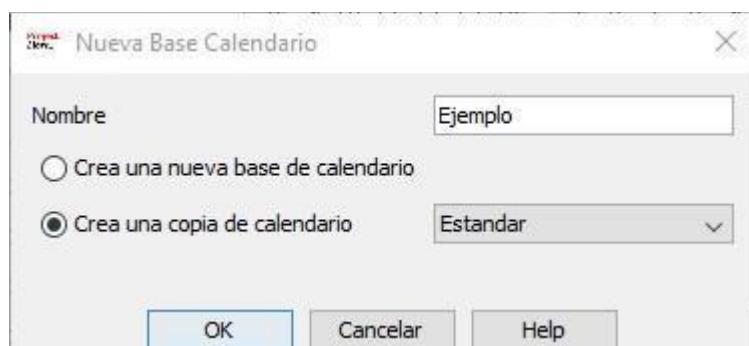
En la pestaña de “Archivo” se puede cambiar el calendario de trabajo:



Al dar seleccionar esta opción, se abre la siguiente ventana:



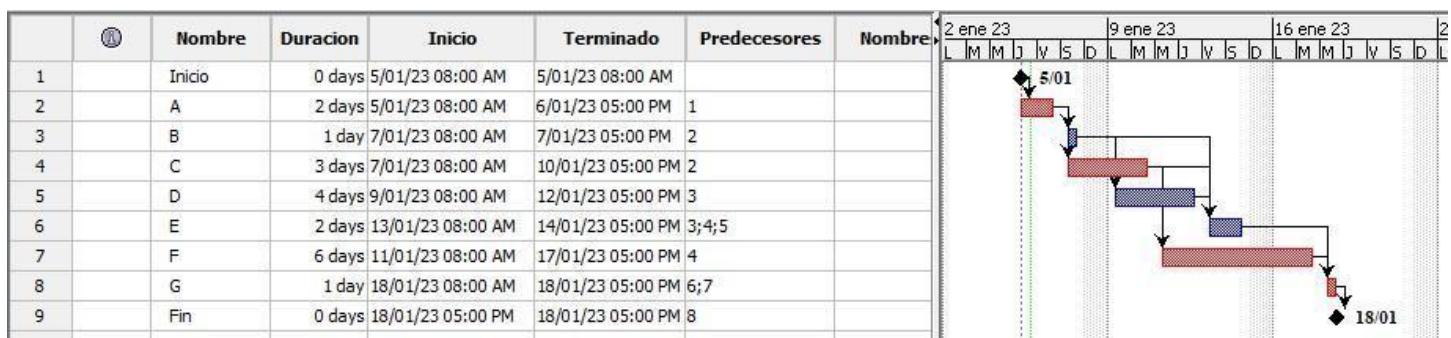
Se recomienda crear un calendario nuevo para cada proyecto, en este caso:



Como primer paso, se ingresan las actividades y sus duraciones a las tablas del lado izquierdo, esto genera inmediatamente las barras de tiempo en el lado derecho para formar el diagrama de Gantt. Se pueden colocar hitos o puntos de referencia en el proyecto al darles una duración de 0 días. Estos pueden ser el inicio y final del proyecto, por ejemplo.



En la columna llamada “Predecesores” se coloca el número de la fila en la que se encuentra la actividad que antecede a la actividad analizada. De existir más de una, se separan con coma (,). El diagrama de Gantt representará estas relaciones.

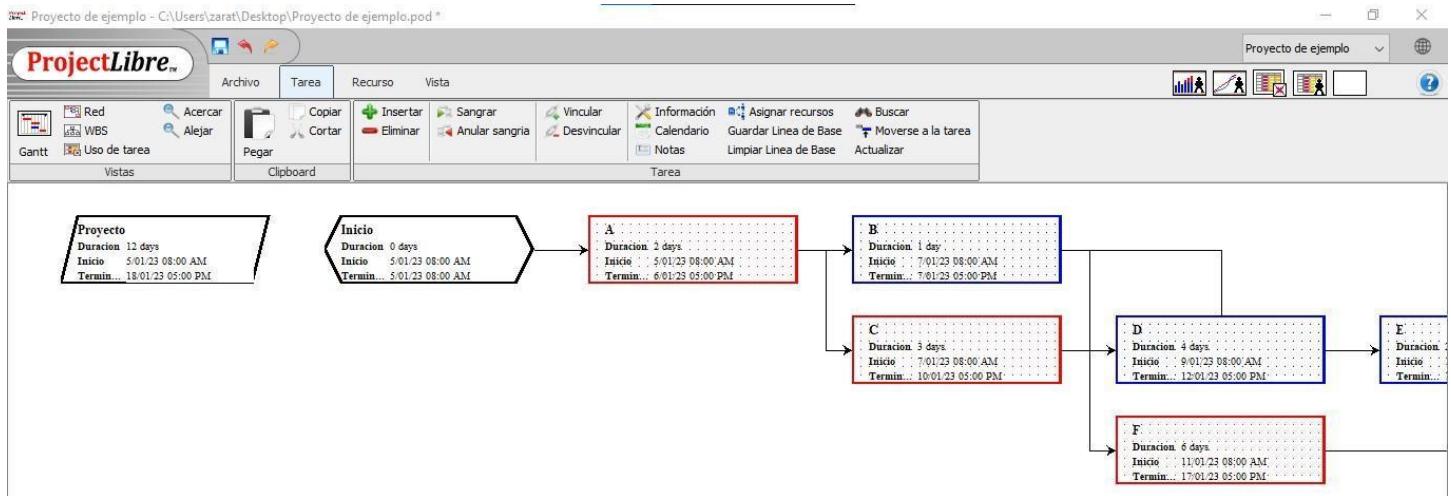


Las actividades con barra de progreso de color rojo forman parte de la ruta crítica. Si se desea conocer la duración de un grupo de actividades, se puede acomodar por medio de la función “Sangría”. En el ejemplo, se agrega una fila adicional encima de todas las actividades, llamada proyecto, luego, se seleccionan las filas que se desean agrupar bajo esta fila y se presiona “Sangría”.



Esto calcula de manera inmediata el tiempo del grupo de actividades que abarca esta fila, en este caso indica 12 días, considerando que, según el calendario configurado para el proyecto, no se laboran los domingos y los sábados únicamente mediodía. Es posible que se desee modificar la relación entre las actividades, hasta el momento se han utilizado únicamente las del tipo fin-comienzo (Finish-Start FS), es posible configurar que ambas actividades terminen al mismo tiempo (Finish-Finish FF) o que comiencen al mismo tiempo (Start-Start SS), para esto se debe añadir el tipo de relación deseada al número que se escribe en la columna “Predecesores”, por ejemplo, 2FF, 3SS, 4FS. Por defecto, si no se indica, ProjectLibre asigna una relación FS.

En la pestaña “Tarea”, sección “Vistas”, aparece la opción “Red”. Esto muestra el proyecto como una red de proyecto, con la información más relevante:



Para regresar a la vista anterior, se selecciona la opción “Gantt”. Presionando con el botón derecho sobre los títulos de las columnas en la vista del diagrama de Gantt se pueden añadir y ocultar columnas. Entre estas, algunas de las más útiles son las de “Holgura total”, “Porcentaje completado” y “Costo fijo”. Holgura total realiza el cálculo de los días de holgura, así como se observa en la práctica 3. Porcentaje completado permite añadir una indicación de cuánto de la actividad se ha realizado. Costo fijo permite asignar un costo total a la actividad, si no se desea utilizar recursos.

	①	Nombre	Duración	Inicio	Terminado
1		② Proyecto	12	18/01/23 05:00 PM	
2		Inicio		5/01/23 08:00 AM	
3		A		6/01/23 05:00 PM	
4		B		7/01/23 05:00 PM	

	Terminado	Predecesores	Holgura tot...	Porcentaje completo	Costo Fijo
1	1/01/23 05:00 PM		0 days	0%	Q139000.00
2	1/23 08:00 AM		0 days	0%	Q0.00
3	1/23 05:00 PM	2	0 days	0%	Q14400.00
4	1/23 05:00 PM	3	2 days	0%	Q16000.00
5	01/23 05:00 PM	3	0 days	0%	Q16000.00
6	01/23 05:00 PM	4	2 days	0%	Q28000.00
7	01/23 05:00 PM	4;5;6	2 days	0%	Q24000.00
8	01/23 05:00 PM	5	0 days	0%	Q17600.00
9	01/23 05:00 PM	7;8	0 days	0%	Q23000.00
10	01/23 05:00 PM	9	0 days	0%	Q0.00

En la pestaña “Recurso”, la opción de “Recursos”, abre una tabla donde se pueden agregar recursos materiales y fuerza de trabajo:

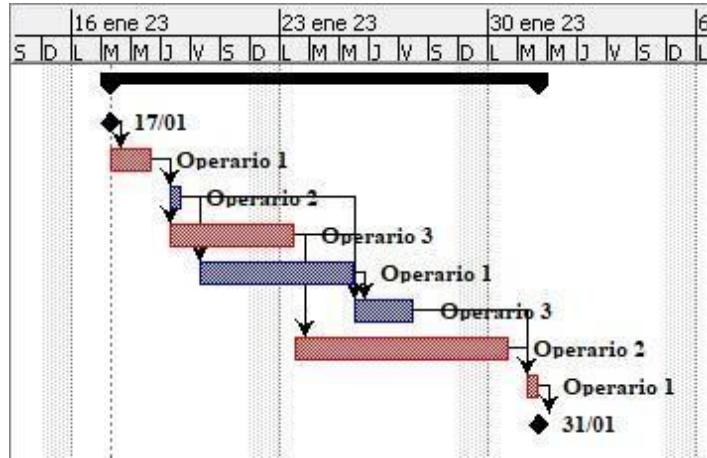
	Nombre	RBS	Tipo	Direccion de correo elec...
1	Operario 1		Trabajo	
2	Operario 2		Trabajo	
3	Operario 3		Trabajo	

Estos recursos pueden ser asignado a actividades específicas, si se colocar el costo por hora del recurso, este será sumado al total de la actividad. En la pestaña “Tarea” se busca la opción “Asignar recursos”.

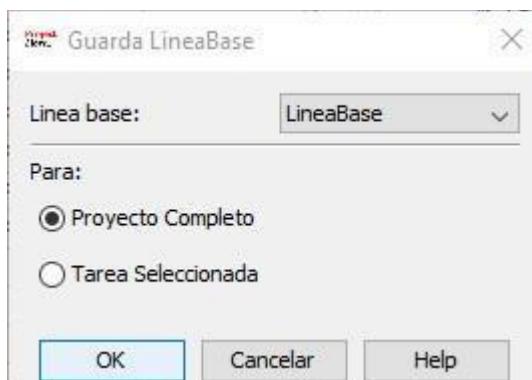
	Nombre	RBS	Tipo	Direccion de correo elec...
1	Operario 1		Trabajo	
2	Operario 2		Trabajo	
3	Operario 3		Trabajo	

	Nombre	Unidad...
Operario 1		
Operario 2		
Operario 3		100%

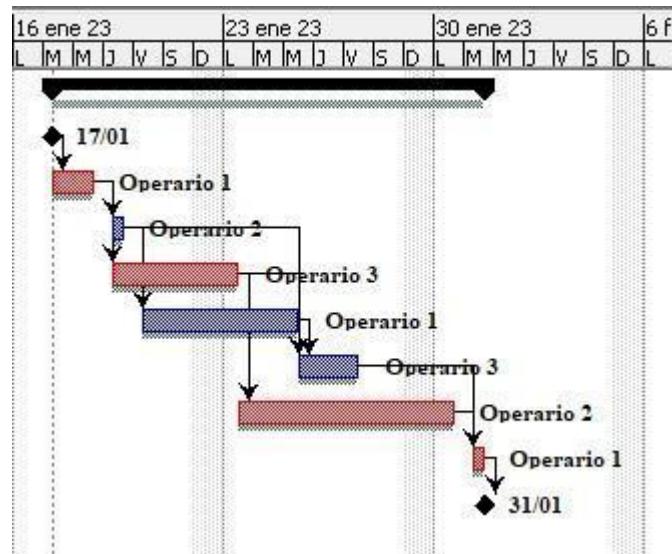
Los recursos asignados aparecerán en el diagrama de Gantt, esto puede utilizarse para delegar responsabilidades de las distintas actividades.



Una vez configurada la planificación del proyecto, se puede dejar la configuración inicial de referencia para poderlo comparar con el desempeño real de las actividades. Para ello, se utiliza la opción “Guardar Línea Base” en la pestaña de “Tarea”.

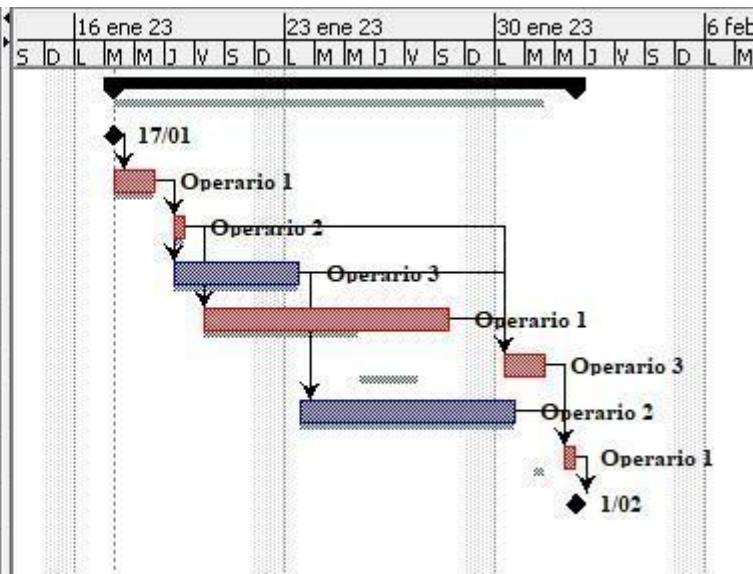


Al realizar esta acción aparecerán sombras debajo de las barras de progreso de las actividades.



Estas sombras indican la posición “inicial” de los tiempos de las actividades. Por ejemplo, si por alguna razón una actividad se atrasa, las barras de progreso se moverán, mientras que las sombras permanecerán en su mismo lugar. En este caso, se ha aumentado la duración de la actividad D a 7 días.

Nombre	Duracion	Inicio
Proyecto	13 days	17/01/23 08:00 AM
Inicio	0 days	17/01/23 08:00 AM
A	2 days	17/01/23 08:00 AM
B	1 day	19/01/23 08:00 AM
C	3 days	19/01/23 08:00 AM
D	7 days	20/01/23 08:00 AM
E	2 days	30/01/23 08:00 AM
F	6 days	23/01/23 01:00 PM
G	1 day	1/02/23 08:00 AM
Fin	0 days	1/02/23 05:00 PM

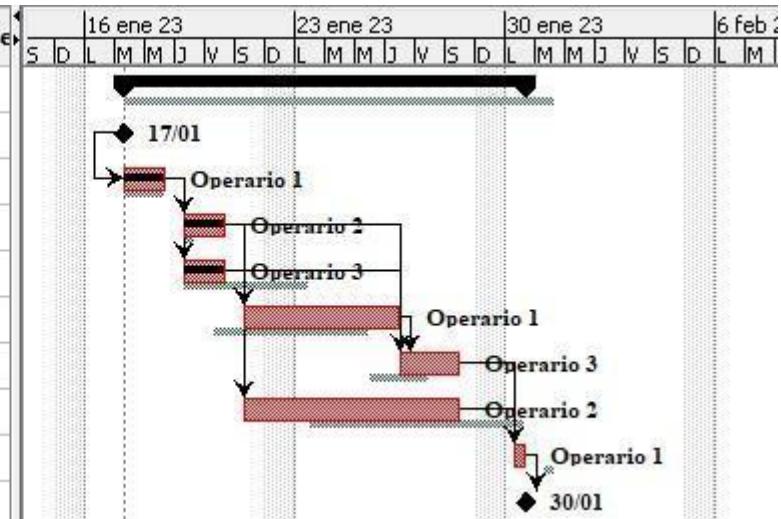


Otras columnas útiles para el control de la ejecución del proyecto son las de “Inicio real” y “Fin real”. Conforme se vayan realizando las actividades, estas columnas se van completando y esto actualizará automáticamente las columnas relevantes.

	Inicio	Terminado	Inicio real	Fin real
1	17/01/23 08:00 AM	31/01/23 05:00 PM		
2	17/01/23 08:00 AM	17/01/23 08:00 AM		
3	17/01/23 08:00 AM	18/01/23 05:00 PM		2
4	19/01/23 08:00 AM	19/01/23 05:00 PM		3
5	19/01/23 08:00 AM	23/01/23 01:00 PM		3
6	20/01/23 08:00 AM	25/01/23 01:00 PM		4
7	25/01/23 01:00 PM	27/01/23 01:00 PM		4
8	23/01/23 01:00 PM	30/01/23 05:00 PM		5
9	31/01/23 08:00 AM	31/01/23 05:00 PM		7
10	31/01/23 05:00 PM	31/01/23 05:00 PM		9

Conforme se actualiza la información de cada actividad, se irán llenando las barras de progreso con líneas de color negro, así como se irán ajustando los tiempos de holgura y las actividades de la ruta crítica.

	Inicio real	Fin real	Pred.
1			
2	17/01/23 08:00 AM	17/01/23 08:00 AM	
3	17/01/23 08:00 AM	18/01/23 05:00 PM	2SS
4	19/01/23 08:00 AM	20/01/23 05:00 PM	3
5	19/01/23 08:00 AM	20/01/23 05:00 PM	3
6			4
7			4;5;6
8			5
9			7;8
10			9



Conforme se indique la finalización de las actividades en la columna de “Porcentaje completado” o al asignar una fecha de finalización a una actividad determinada, aparecerá una marca de verificación al lado del nombre de la actividad.

①	Nombre	Duracion
1	Proyecto	11 days 17
2	Inicio	0 days 17
3	A	2 days 17
4	B	2 days 19
5	C	2 days 19
6	D	4 days 21
7	E	2 days 26
8	F	6 days 21
9	G	1 day 30
10	Fin	0 days 30

Una vez realizada la asignación de recursos a las distintas actividades, en la pestaña “Tarea”, sección de “Vistas”, “Uso de tareas” se puede observar la distribución de las horas de trabajo para el personal asignado.

	Nombre	Trabajo	Duracion	16 ene 23								23 ene 23							
				L	M	M	J	V	S	D	M	L	M	M	J	V	S	D	M
1	Proyecto	152 horas	11 days	Trabajo				8h	8h	16h	16h	8h							
2	Inicio	0 horas	0 days	Trabajo					0h										
3	A	16 horas	2 days	Trabajo				8h	8h										
	Operario 1	16 horas	2 days	Trabajo				8h	8h										
4	B	16 horas	2 days	Trabajo								8h	8h						
	Operario 2	16 horas	2 days	Trabajo							8h	8h							
5	C	16 horas	2 days	Trabajo						8h	8h								
	Operario 3	16 horas	2 days	Trabajo						8h	8h								
6	D	32 horas	4 days	Trabajo												4h	0h		
	Operario 1	32 horas	4 days	Trabajo												4h	0h		
7	E	16 horas	2 days	Trabajo															
	Operario 3	16 horas	2 days	Trabajo															
8	F	48 horas	6 days	Trabajo												4h	0h		
	Operario 2	48 horas	6 days	Trabajo												4h	0h		
9	G	8 horas	1 day	Trabajo															
	Operario 1	8 horas	1 day	Trabajo															
10	Fin	0 horas	0 days	Trabajo															

HOJA DE TRABAJO 4

Utilice *Project Libre* para gestionar los dos proyectos que aparecen en la **hoja de trabajo 3**:

1. Ingresar todas las actividades de cada proyecto junto con su información relevante.
2. Determinar los tiempos de holgura para cada actividad y verificar que coinciden con los resultados anteriores.
3. Crear el diagrama de Gantt del proyecto.
4. Asignar personal y responsables para cada actividad.
5. Crear la línea base del proyecto.

Realice los incisos anteriores con el siguiente proyecto: Actividades relacionadas a un servicio de coro para eventos.

	Actividad	Predecesora(s)	Duración (días)
A:	Seleccionar la música	—	2
B:	Aprenderse la música	A	14
C:	Sacar copias y comprar libros	A	14
D:	Audiciones	B, C	3
E:	Ensayos	D	70
F:	Rentar candelabros	D	14
G:	Decorar los candelabros	F	1
H:	Instalar las decoraciones	D	1
I:	Pedir atuendos para el coro	D	7
J:	Verificar el sistema de sonido	D	7
K:	Seleccionar las pistas de música	J	14
L:	Instalar el sistema de sonido	K	1
M:	Ensayo final	E, G, L	1
N:	Reunión del coro	H, L, M	1
O:	Programa final	I, N	1

BIBLIOGRAFÍA

1. Bravo, V. G. C. G. R. N. G. B. (2021). *Principios de Investigación de Operaciones*. Patria Educación.
2. Gómez, H. F. J. & Castillo, H. T. (2020). *Investigación de operaciones: Teoría, Modelos y Problemas Aplicados* (Spanish Edition). Editorial Académica Española.
3. Hillier, F. S. & Lieberman, G. J. (2003). *Investigación de Operaciones*. McGraw-Hill Companies.
4. Taha, H. A. (1999). *Investigación de Operaciones*. Prentice Hall.