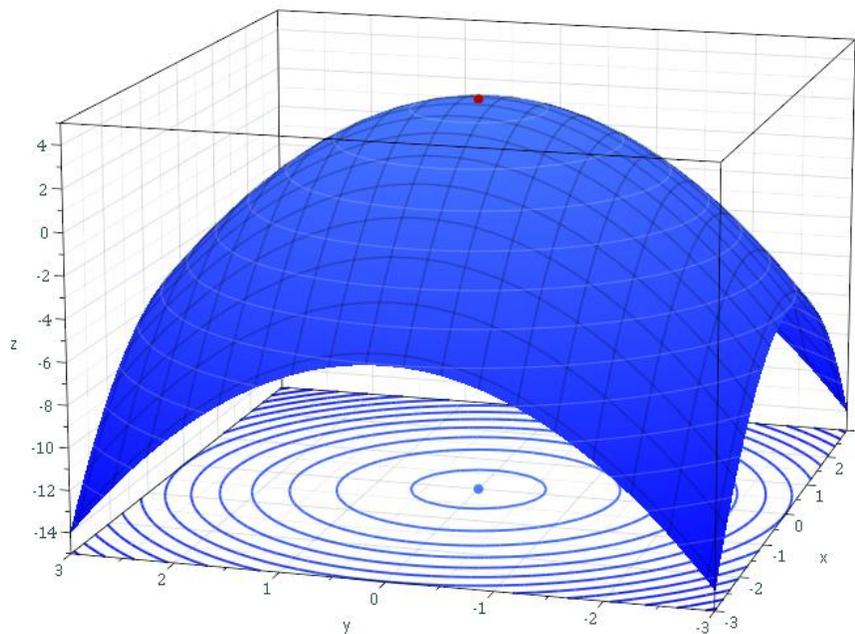


# MANUAL DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES



**Primer Semestre 2024**

## PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

DÍA	HORARIO	ACTIVIDAD
Lunes	08:00-12:00	<b>Práctica 1:</b> Programación lineal con Excel
Martes	08:00-12:00	<b>Práctica 2:</b> Modelos de transporte y asignación con Excel
Miércoles	08:00-12:00	<b>Práctica 3:</b> Método de la ruta crítica para aceleración de proyectos
Jueves	08:00-12:00	<b>Práctica 4:</b> Software para gestión de proyectos
<b>La evaluación del laboratorio será de manera virtual al final del semestre</b>		

### 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 <b>Computadora con <i>Microsoft Excel</i></b>
2	Hojas en blanco Lapiceros <b>Computadora con <i>Microsoft Excel</i></b>
3	Hojas en blanco Lapiceros <b>Computadora con <i>Microsoft Excel</i></b>
4	Hojas en blanco Lapiceros <b>Computadora</b> <b>Instalar <i>Project Libre</i></b>

## INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA PRÁCTICA

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

1. Presentarse puntualmente a la hora de inicio de 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 de la práctica a realizar.
5. **Respeto dentro del laboratorio hacia los catedráticos o compañeros (as).**

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

1. No se permite el uso de teléfono celular dentro del laboratorio, visitas durante la realización de la práctica o hablar a través de las ventanas.
2. Se prohíbe terminantemente comer, beber, fumar y masticar chicle dentro del laboratorio. Éstos también serán motivos para ser expulsado del laboratorio.
3. Se les recuerda a todos los y las estudiantes el **respeto** dentro de las instalaciones, tanto con los catedráticos como con sus compañeros.

## 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. Encabezado.....	0 puntos
b. Resumen de la teoría .....	20 puntos
c. Objetivos .....	20 puntos
d. Desarrollo del contenido .....	40 puntos
e. Conclusiones .....	20 puntos
f. Total .....	100 puntos

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

- a. **RESUMEN DE LA TEORÍA:** Redactar un resumen, no mayor a una página, de los conceptos clave vistos en clase.
- b. **OBJETIVOS:** Son las metas que se desean alcanzar en la práctica. Se inician generalmente con un verbo, que guiará a la meta que se desea alcanzar, los verbos finalizan en AR, ER o IR, ejemplo: conocer, determinar, etc.
- c. **DESARROLLO DE CONTENIDO:** Esta sección corresponde al contenido del informe, aquello que se ha encargado realizar según las condiciones del laboratorio.
- d. **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 de 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

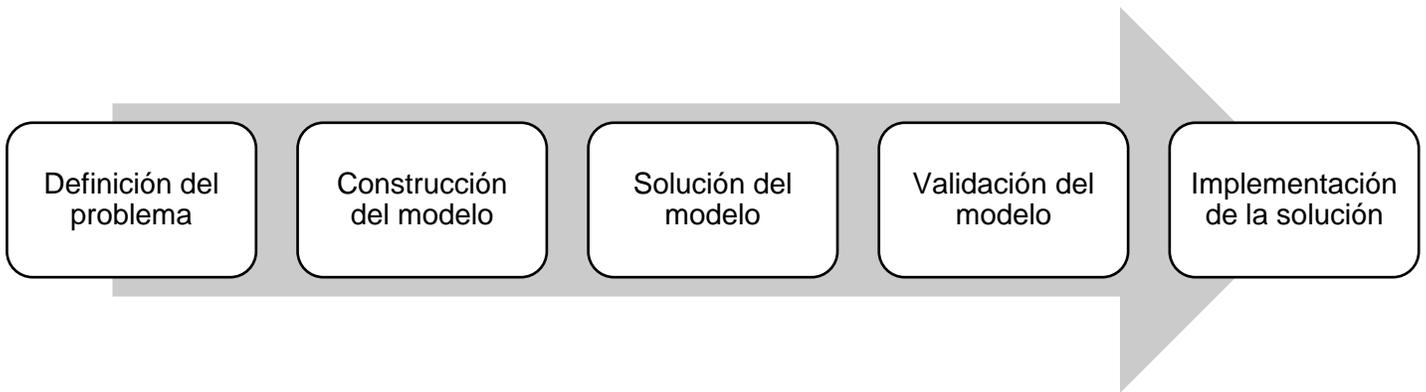
- **Función objetivo:** es una expresión matemática de las variables de decisión, que representa la medida de desempeño de las alternativas de decisión, normalmente expresada en dinero.
- **Variables de decisión:** decisiones cuantificables relacionadas entre sí para las que se deben determinar valores 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.

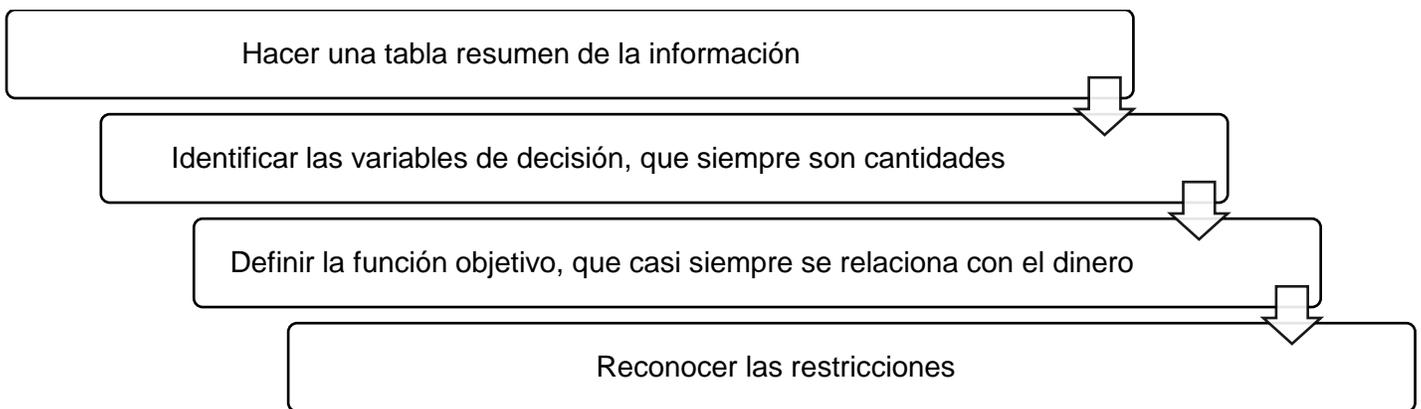
Antes de utilizar la investigación de operaciones se debe considerar:

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:



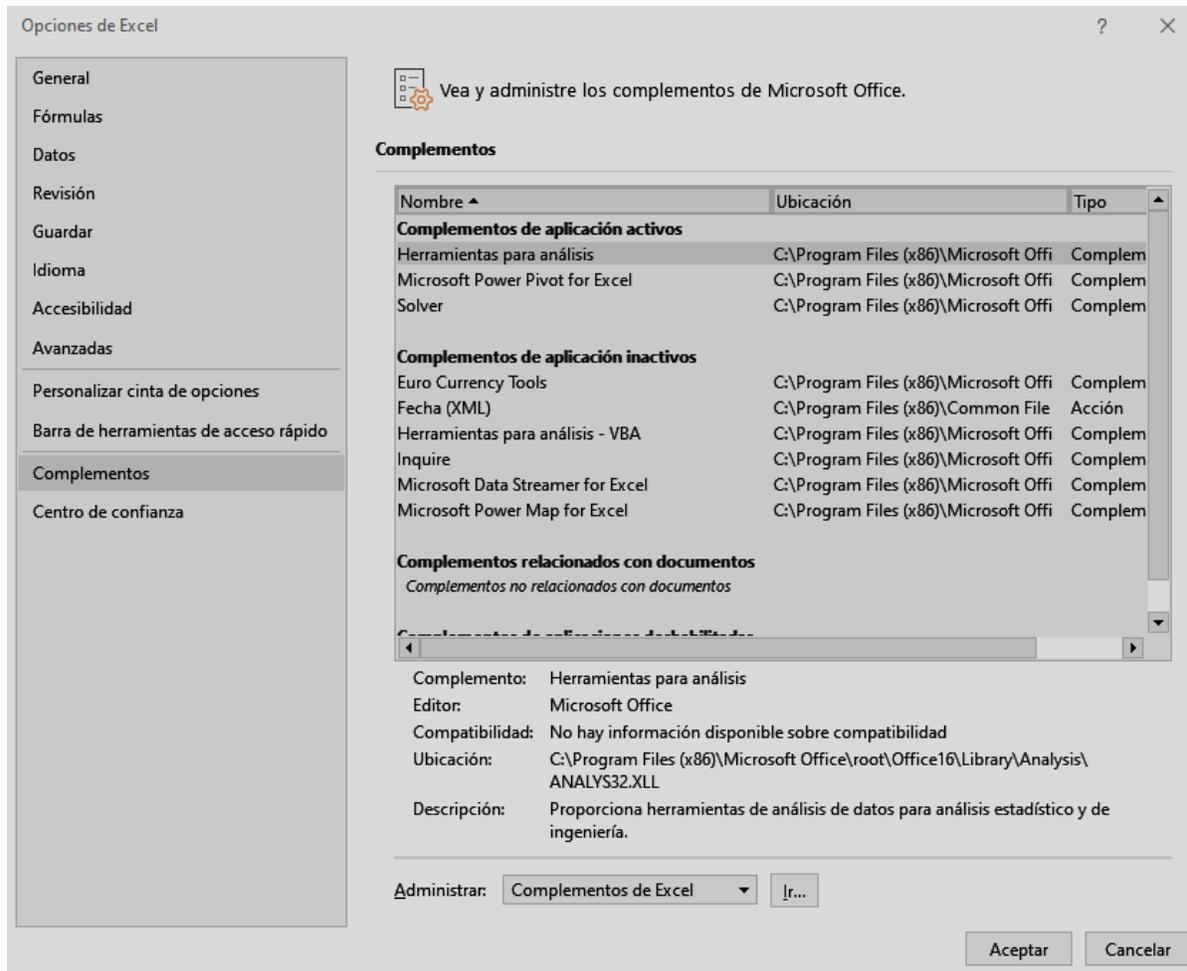
Planteamiento de un problema de programación lineal:



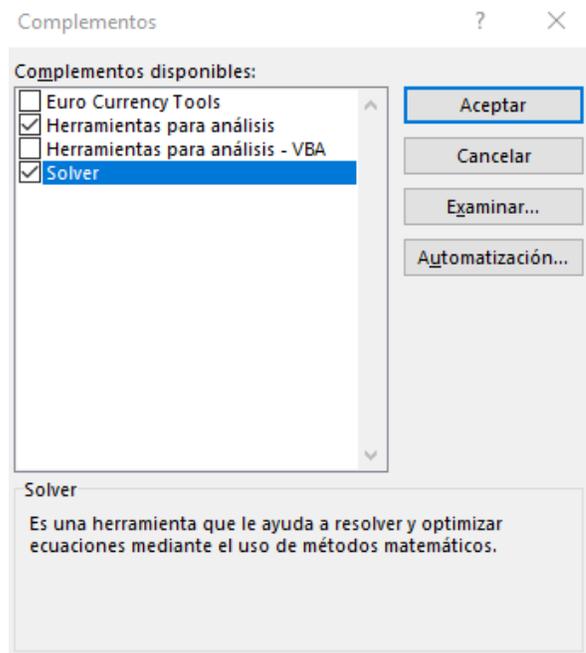
Una vez planteado el problema de programación lineal, se utiliza alguna metodología de resolución para encontrar el valor óptimo. Uno de los métodos más conocidos es el Simplex, sin embargo, resolver problemas de programación lineal más grandes, con muchas variables y restricciones, complica demasiado 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:

	<b>Cebada (1)</b>	<b>Trigo (2)</b>	<b>Maíz (3)</b>
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 termina 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. 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.

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

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%.

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

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.

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

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:

Restricciones:

Minimizar

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

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

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

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

$$0.00 \leq x_1$$

$$0.00 \leq x_2$$

$$0.00 \leq x_3$$

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

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	x1=	
	x2=	
	x3=	

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	17.5
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	x1=	100
	x2=	100
	x3=	150

Restricciones

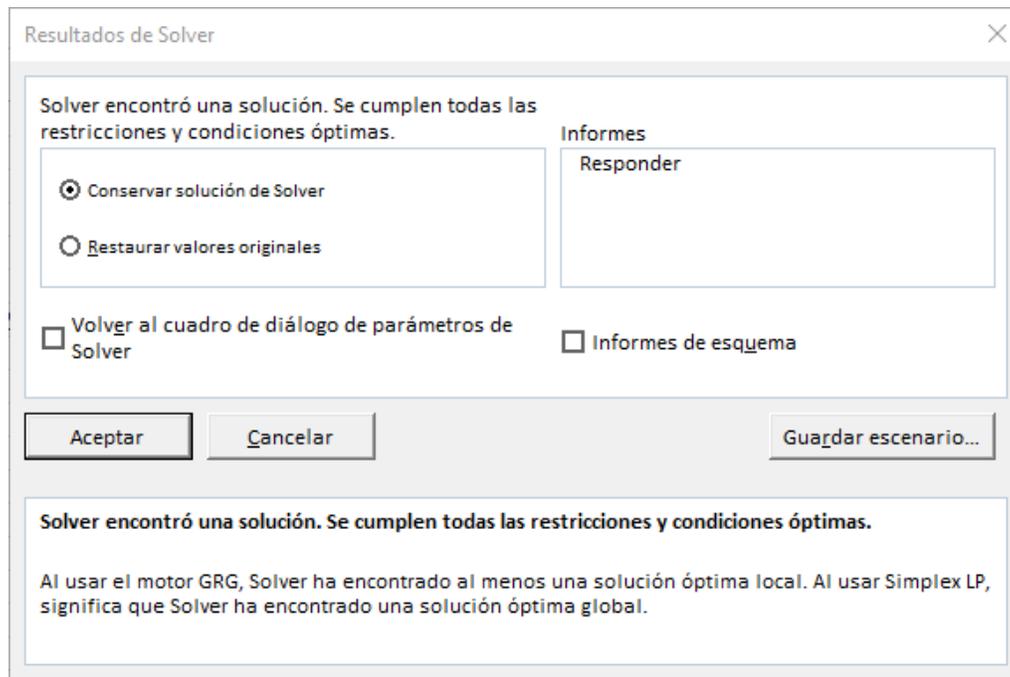
	Cebada	Trigo	Maíz	Total	Condición	Límite	
Proteínas	0.12	0.52	0.09	77.5	Mayor que	105	
Almidón	0.01	0.08	0.15	31.5	Menor que	21	
Minerales	0	0.08	0.02	11	Entre	10.5	17.5
Masa total	100	100	150	350	Menor que	350	

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 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		x1=	118				
3			x2=	214				
4			x3=	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 estén representando la situación que se está trabajando.

## 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 anunciarse 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 <sup>2</sup> )	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:

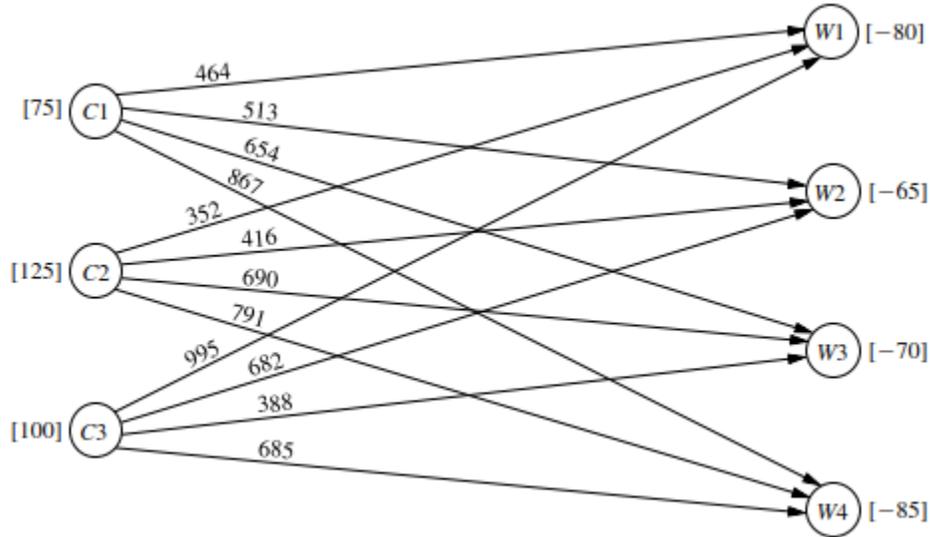
1. Cada origen tiene una cantidad limitada de bienes que ofrece.
2. Cada destino tiene una cantidad limitada de bienes que demanda.
3. A cada relación origen-destino corresponde un costo, el cuál es proporcional al número de unidades distribuidas.
4. El objetivo es transportar todas las unidades de los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



En la figura anterior, del lado izquierdo aparecen las enlatadoras (C1,C2,C3), entre corchetes se tiene la oferta de cada una de ellas, del lado derecho se tienen los almacenes (W1,W2,W3,W4), entre corchetes se tiene la demanda de cada uno. Las líneas rectas representan el transporte entre cada posible combinación y el número sobre esta línea representa el costo asociado a esta ruta.

1. Se coloca toda la información del problema en una tabla.

		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. Se construye una tabla con estructura idéntica, pero ahora colocando las unidades que se enviarán por cada una de las rutas. Se suman los totales de las filas y columnas para utilizarlos como restricciones.

		Unidades por embarque				Oferta	Total
		Almacén					
		1	2	3	4		
Enlatadora	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		

3. Se utiliza la función SUMAPRODUCTO de *Excel* para operar las dos tablas anteriores y generar la función objetivo, que será el costo total. Por ser un costo, el objetivo será minimizarlo.

VNA		=SUMAPRODUCTO(C4:F6;C12:F14)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1			Costos por embarque							
2			Almacén							
3			1	2	3	4	Oferta			
4	Enlatadora	1	464	513	654	867	75			
5		2	352	416	690	791	125			
6		3	995	682	388	685	100			
7		Demanda	80	65	70	85				
8										
9			Unidades por embarque							
10			Almacén							
11			1	2	3	4	Oferta	Totales		
12	Enlatadora	1	0	0	0	0	75	=	0	
13		2	0	0	0	0	125	=	0	
14		3	0	0	0	0	100	=	0	
15		Demanda	80	65	70	85				
16			=	=	=	=				
17			0	0	0	0				
18										
19			Costo total	=SUMAPRODUCTO(C4:F6;C12:F14)						

4. Se plantean las restricciones, estas serán las restricciones de no negatividad, además de establecer los límites de la oferta y la demanda. Para esto, las unidades demandadas deben ser mayores o iguales a lo que pide cada destino; mientras que las unidades ofertadas deben ser menores o iguales a lo que posee cada origen. Esta información se coloca en el *Solver* de *Excel*. Las celdas variables serán las unidades por embarque que se enviarán a cada lugar.

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para:  Máx  Mín  Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

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.

La solución de Solver:

		Unidades por embarque					
		Almacén					
		1	2	3	4	Oferta	Totales
Enlatadora	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

**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				
		1	2	3	4	
Planta	1	41	27	28	24	75
	2	40	29	-	23	75
	3	37	30	27	21	45
Demanda		20	30	30	40	

El último renglón muestra la producción diaria que se requiere para satisfacer las ventas proyectadas. Cada planta puede producir cualquiera de estos productos, excepto la planta 2 que no puede fabricar el producto 3. Sin embargo, el costo variable por unidad de cada producto difiere entre una planta y otra, como se muestra en el cuerpo principal de la tabla.

Nuevamente, se construye una segunda tabla, con la misma estructura de la anterior para poder calcular la función objetivo. En este caso, la demanda se debe igualar a 1 en cada columna. La oferta es la capacidad que se tiene del recurso respectivo, en este caso, la capacidad de producción de cada planta.

		Costos de unitario por producto				Total	Oferta
		Producto					
		1	2	3	4		
Planta	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		

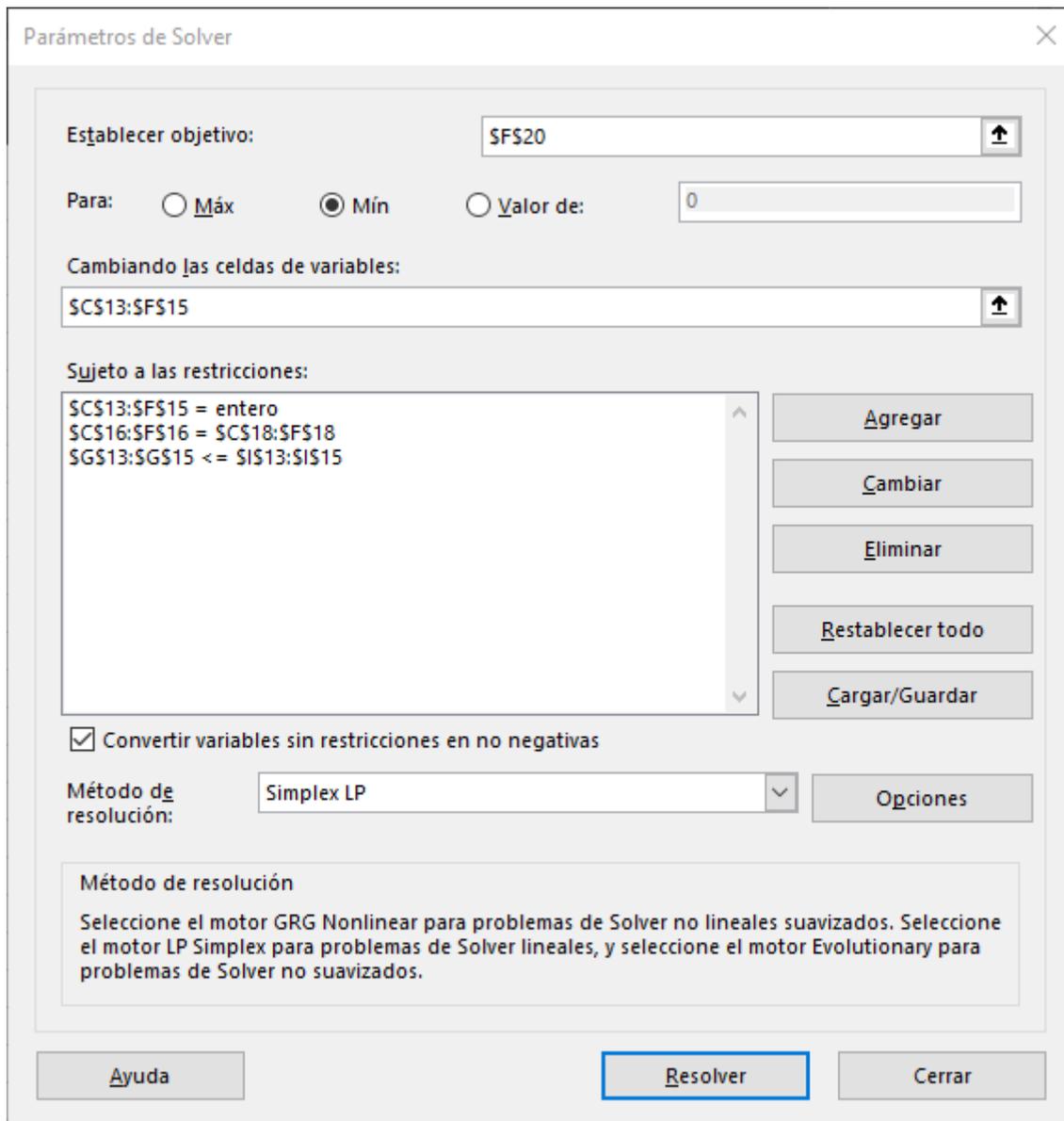
La función objetivo nuevamente se calcula por medio de la función SUMAPRODUCTO, ahora multiplicando la primer tabla por la fila de la demanda en el mismo argumento. Dado que es un costo, esta se desea minimizar.

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			
5	Planta	1	41	27	28	24	75			
6		2	40	29	10000000	23	75			
7		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	
13	Planta	1	0	1	1	0	60	=	75	
14		2	1	0	0	0	20	=	75	
15		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 de observar que en el caso de la planta 2, esta no puede trabajar el producto 3, por lo tanto, para que no existan problemas con el *Solver* de *Excel*, se le asigna un costo mucho mayor a los demás. De esta manera, esta posibilidad siempre será descartada. La función SUMPRODUCTO se utiliza también para calcular el total de la oferta en la segunda tabla, operando cada fila correspondiente con la fila de la demanda en la tabla anterior.

Una vez planteadas las tablas anteriores, se ingresan las restricciones a los parámetros de *Solver*, de la misma manera que con el modelo de transporte. Adicional se deben condicionar las variables de decisión para ser números enteros iguales a 1, esto es la demanda del recurso. El total de la oferta debe ser menor o igual al que puede proveer el recurso a asignar.

Si se elimina la condición de valores enteros, *Solver* distribuirá las asignaciones de los recursos proporcionalmente, por ejemplo, podría considerarse que una planta trabaje el 40% de un producto, mientras otra trabaja el 60% restante.



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

		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
Total		1	1	1	1			
Demanda		=	=	=	=			
		1	1	1	1			

Costos totales Q 3,290.00

Entonces, la planta 1 trabajará los productos 2 y 3; la planta 2 trabajará el producto 1 y la planta 3 trabajará el producto 4. Del lado derecho se observa como todavía queda capacidad disponible en todas las plantas.

## 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.

- 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					
		1	2	3	4	5	
Centro	1	100	150	200	140	35	400
	2	50	70	60	65	80	200
	3	40	90	100	150	130	150
Demanda de vehículos		100	200	150	160	140	

- 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 desean 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			
		1	2	3	4
Planta	1	800	700	500	200
	2	500	200	100	300
	3	600	400	300	500

- 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. La demanda de un pequeño motor especial durante los próximos cinco trimestres es de 200, 150, 300, 250 y 400 unidades, respectivamente. El fabricante que surte el motor tiene capacidades de producción diferentes estimadas en 180, 230, 430, 300 y 300 para los cinco trimestres. No se aceptan pedidos en espera, pero si es necesario, el fabricante puede utilizar tiempo extra para satisfacer la demanda inmediata. La capacidad de tiempo extra en cada periodo es la mitad de la capacidad regular. Los costos de producción por unidad en los cinco periodos son de Q1000, Q960, Q1160, Q1020 y Q1060, respectivamente. El costo de producción con tiempo extra por motor es 50% más alto que el costo de producción regular. Si ahora se produce un motor para su uso en periodos posteriores se incurre en un costo de almacenamiento adicional de \$4 por motor por periodo. Formule el problema como un modelo de transporte. Determine la cantidad óptima de motores que se deben producir durante el tiempo regular y el tiempo extra de cada periodo.

## 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.

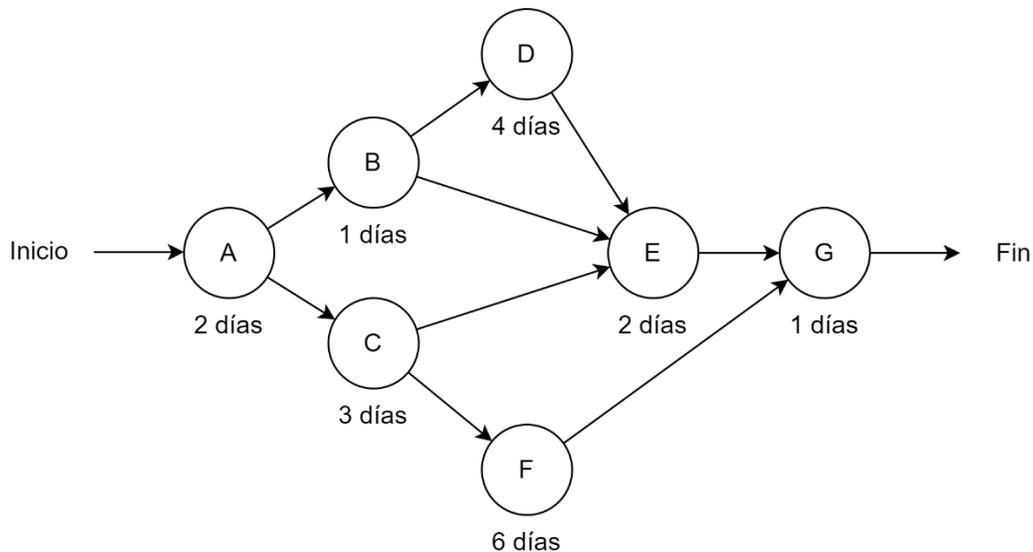
#### 2. Marco Teórico:

**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 certeros, 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 de 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.

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

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.

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

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 no 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.

### HOJA DE TRABAJO 3

Utilizando *Excel*, realice los siguientes ejercicios:

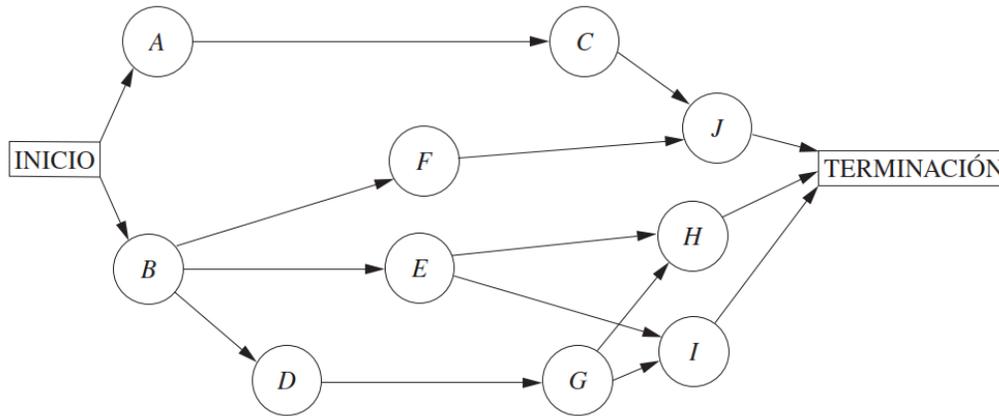
Una constructora acaba de ganar una licitación de 6.4 millones de quetzales para construir una nueva planta para un fabricante importante. El dueño de la empresa necesita que la planta esté en operación en 40 semanas. La empresa ha asignado este proyecto a su mejor director de operaciones, usted, para 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 el 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

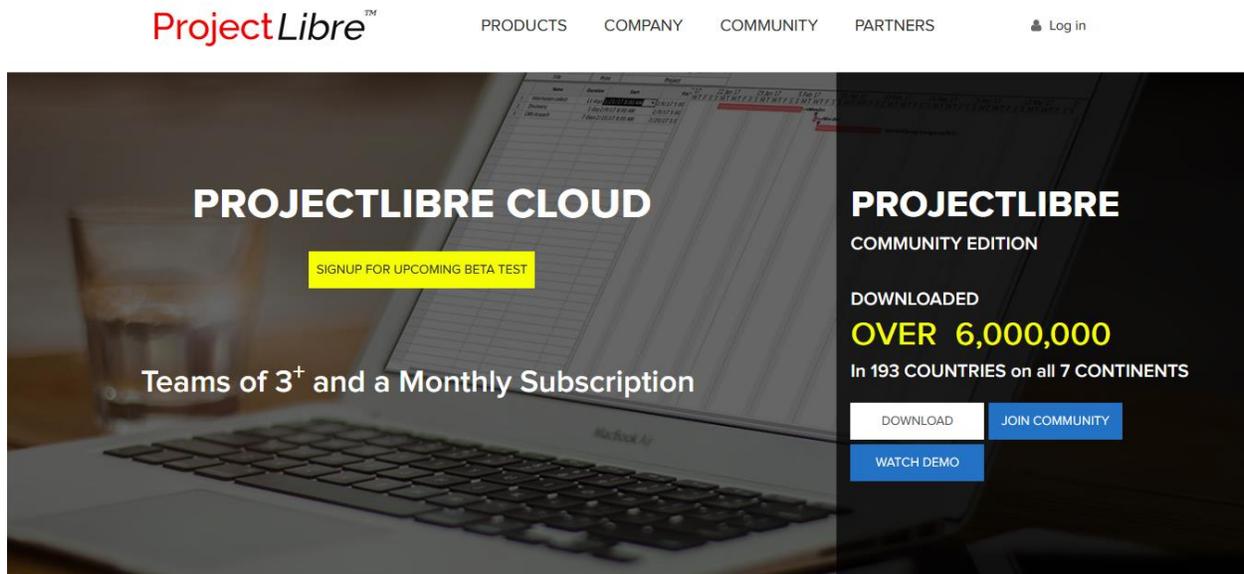
### SOFTWARE PARA GESTIÓN DE PROYECTOS

#### 1. Propósito de la práctica:

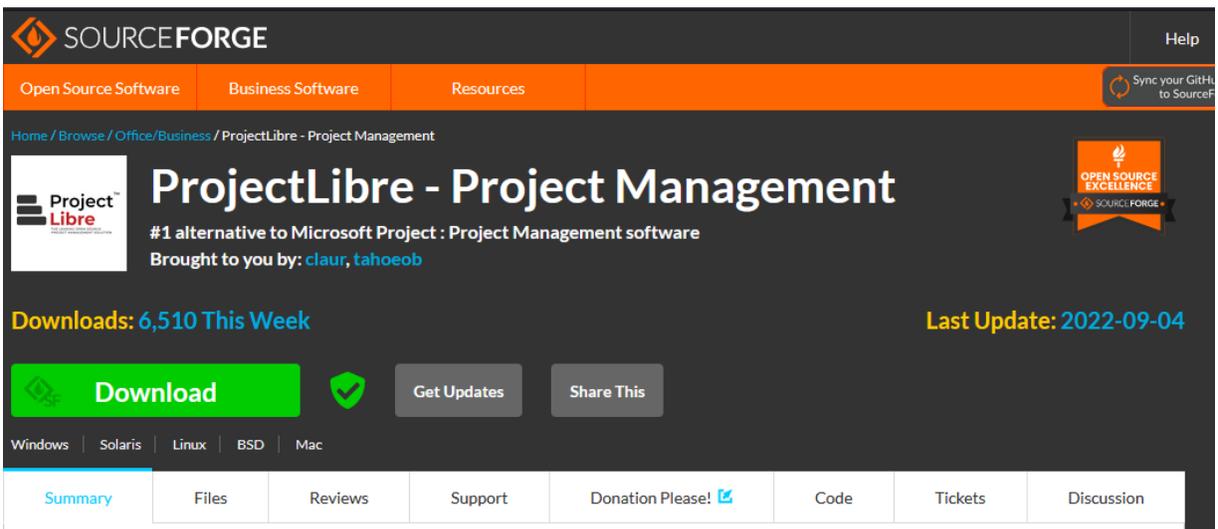
- 1.1. Conocer un software para la gestión de proyectos.
- 1.2. Aplicar los conocimientos aprendidos en una plataforma digital.

#### 2. Marco Teórico:

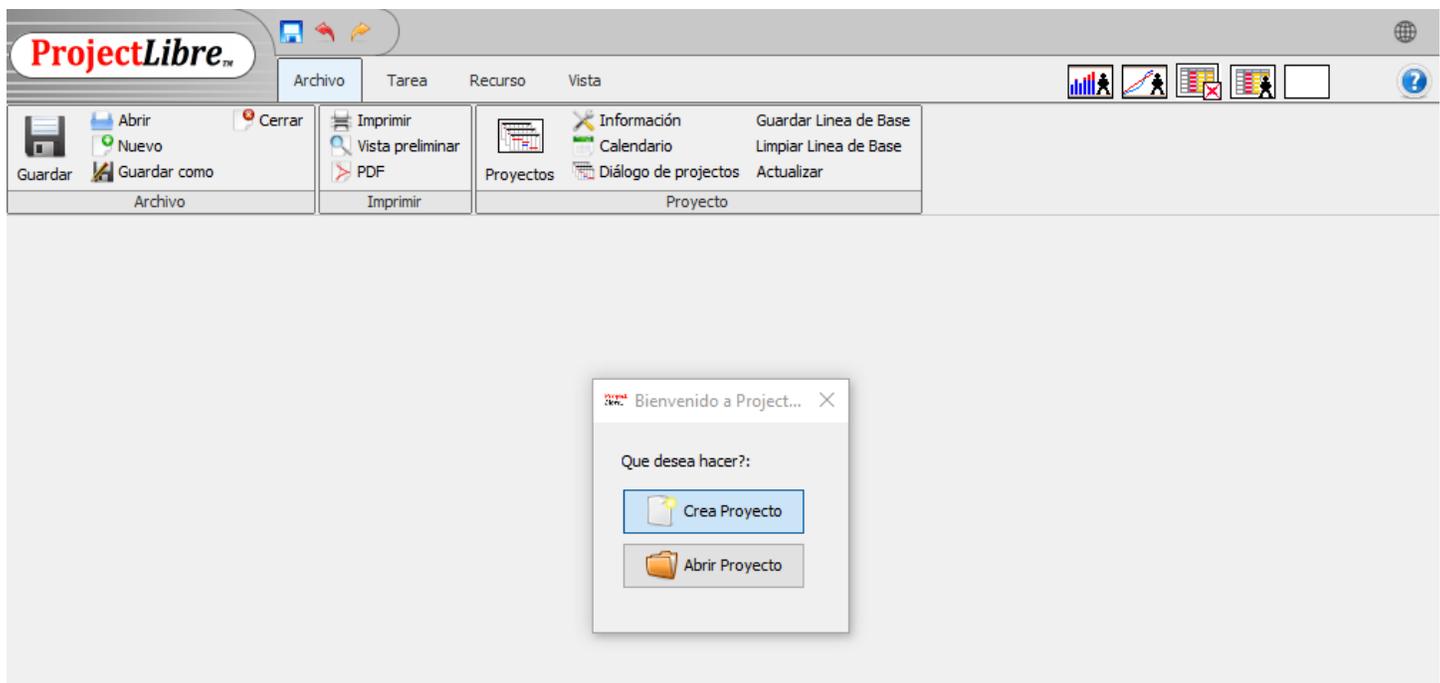
**Project libre:** es una alternativa libre y gratuita a *Microsoft Project*, a pesar de esto cuenta con lo necesario para la adecuada gestión de proyectos. Para instalarlo se debe acceder al sitio web: [www.projectlibre.com](http://www.projectlibre.com) O bien, buscar “project libre” en cualquier navegador.



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.

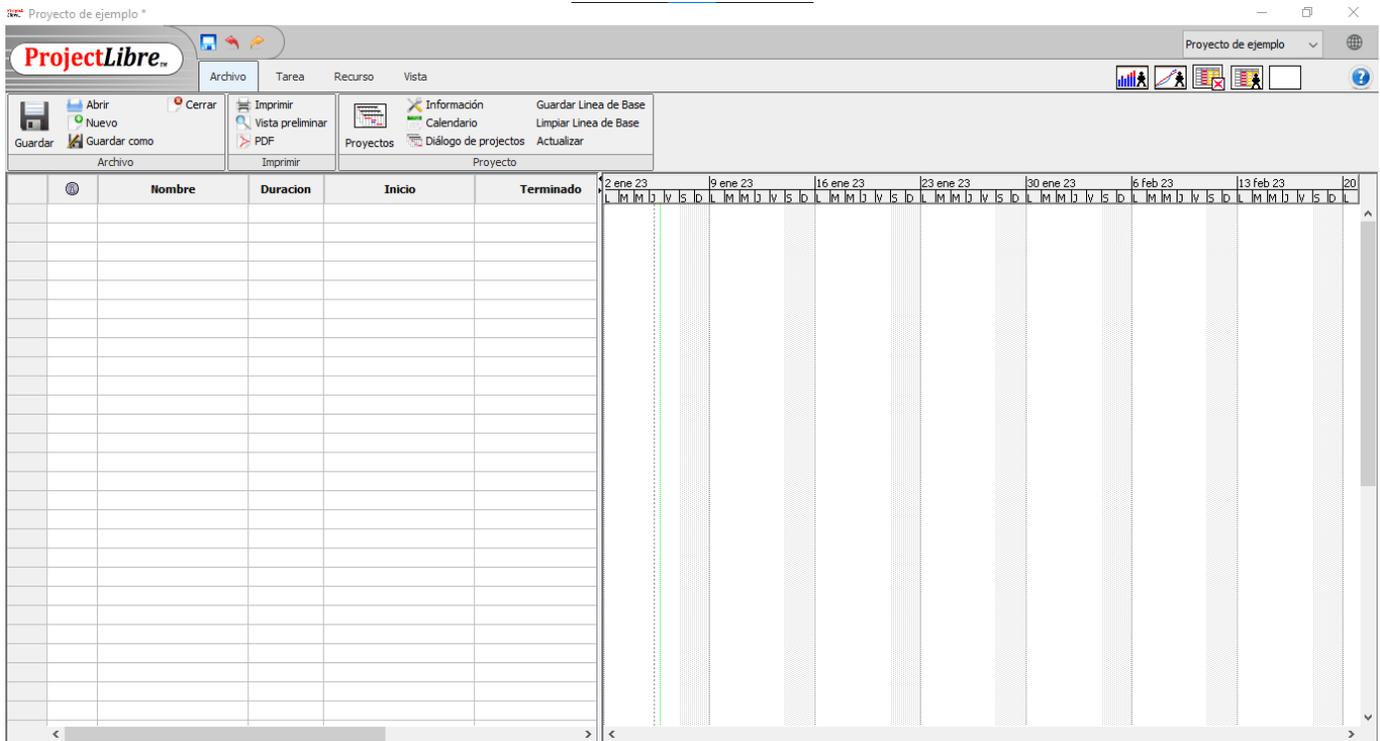


Al seleccionar “Crea Proyecto” se solicita información básica de este:

The image shows the 'Nuevo Proyecto' dialog box. It has a title bar with the ProjectLibre logo and a close button. The fields are: 'Nombre de Proyecto:' with the text 'Proyecto de ejemplo'; 'Administrador:' with the text 'Ing. Luis Zarat'; 'Fecha Inicio:' with the date '5/01/23' and a dropdown arrow, and a checked checkbox labeled 'Adelante'; and a 'Notas:' section with a text area containing the text 'Este proyecto se utilizará como un ejemplo para demostrar las funcionalidades de ProjectLibre'. At the bottom are three buttons: 'OK', 'Cancelar', and 'Help'.

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.

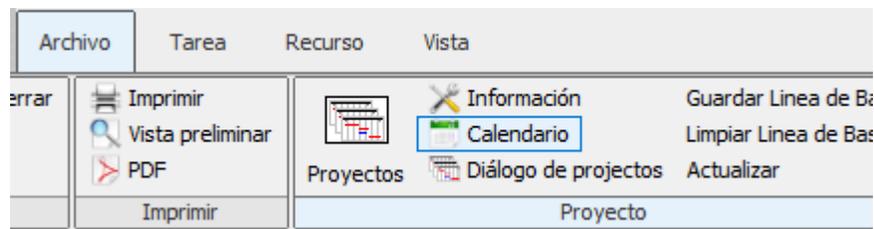
Una vez ingresada esta información, se puede empezar a trabajar el contenido del proyecto:



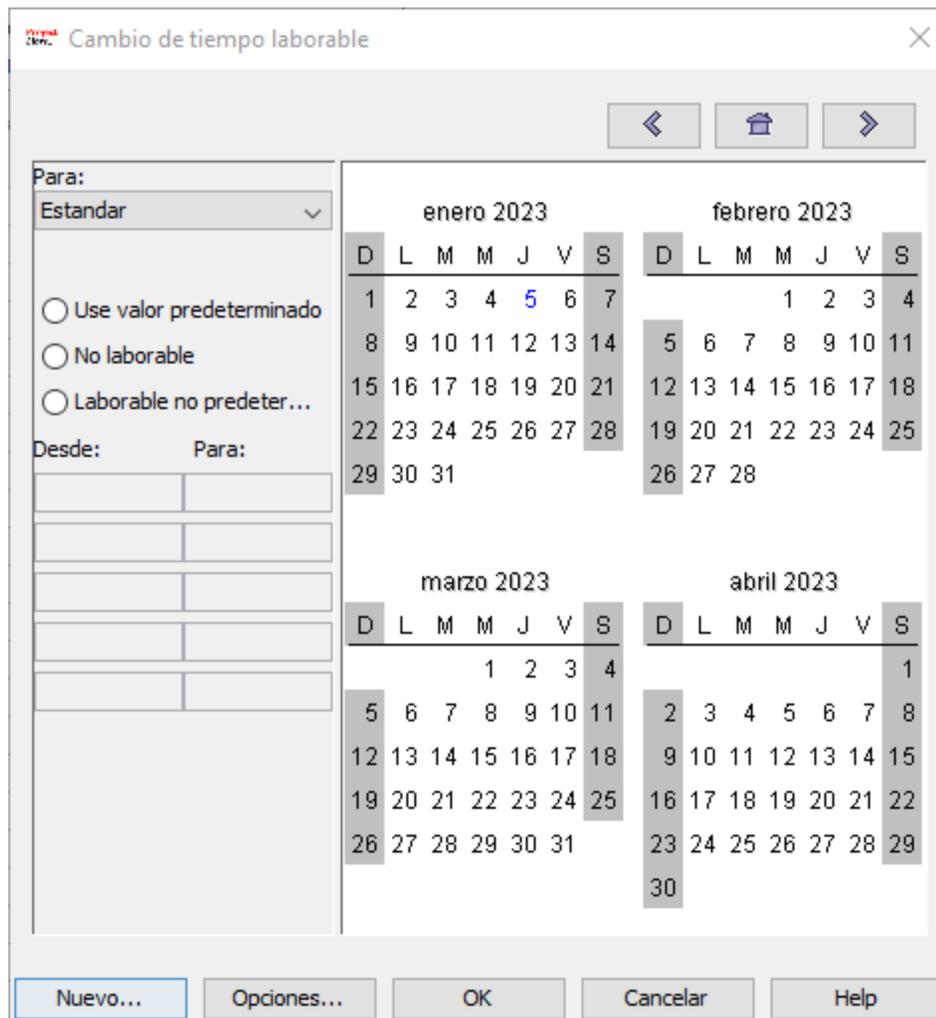
El espacio de la izquierda se utiliza para ingresar la información relevante a las actividades que se van a planificar, el espacio de la derecha es una línea de tiempo en forma de diagrama de Gantt. Se utilizará el proyecto del ejemplo de la práctica 3.

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

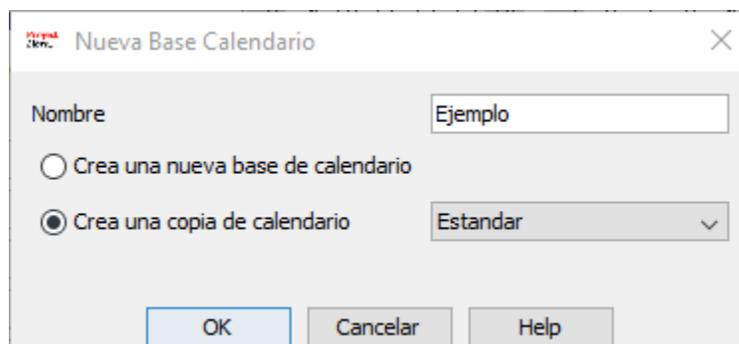
En la pestaña de “Archivo” se puede cambiar el calendario de trabajo:



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.

	🕒	Nombre	Duracion	Inicio	Terminado	Predecesores	Nombre
1		Inicio	0 days	5/01/23 08:00 AM	5/01/23 08:00 AM		
2		A	2 days	5/01/23 08:00 AM	6/01/23 05:00 PM		
3		B	1 day	5/01/23 08:00 AM	5/01/23 05:00 PM		
4		C	3 days	5/01/23 08:00 AM	7/01/23 05:00 PM		
5		D	4 days	5/01/23 08:00 AM	9/01/23 05:00 PM		
6		E	2 days	5/01/23 08:00 AM	6/01/23 05:00 PM		
7		F	6 days	5/01/23 08:00 AM	11/01/23 05:00 PM		
8		G	1 day	5/01/23 08:00 AM	5/01/23 05:00 PM		
9		Fin	0 days	5/01/23 08:00 AM	5/01/23 08:00 AM		

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.

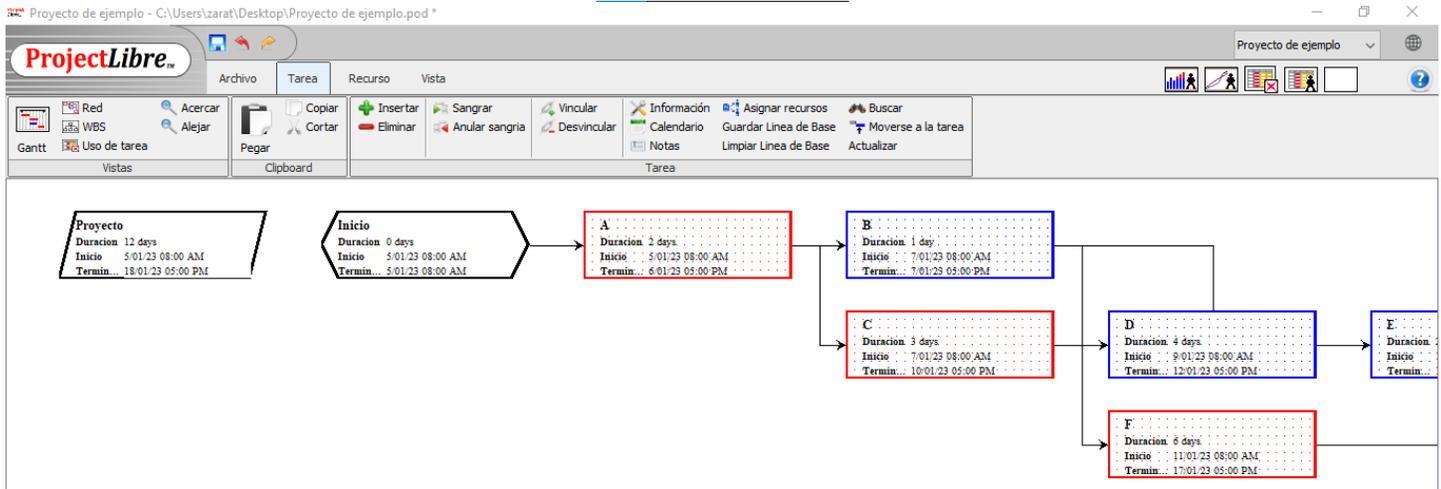
	🕒	Nombre	Duracion	Inicio	Terminado	Predecesores	Nombre
1		Inicio	0 days	5/01/23 08:00 AM	5/01/23 08:00 AM		
2		A	2 days	5/01/23 08:00 AM	6/01/23 05:00 PM	1	
3		B	1 day	7/01/23 08:00 AM	7/01/23 05:00 PM	2	
4		C	3 days	7/01/23 08:00 AM	10/01/23 05:00 PM	2	
5		D	4 days	9/01/23 08:00 AM	12/01/23 05:00 PM	3	
6		E	2 days	13/01/23 08:00 AM	14/01/23 05:00 PM	3;4;5	
7		F	6 days	11/01/23 08:00 AM	17/01/23 05:00 PM	4	
8		G	1 day	18/01/23 08:00 AM	18/01/23 05:00 PM	6;7	
9		Fin	0 days	18/01/23 05:00 PM	18/01/23 05:00 PM	8	

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”.

	🕒	Nombre	Duracion	Inicio	Terminado	Predecesores	Nombre
1		☐ Proyecto	12 days	5/01/23 08:00 AM	18/01/23 05:00 PM		
2		Inicio	0 days	5/01/23 08:00 AM	5/01/23 08:00 AM		
3		A	2 days	5/01/23 08:00 AM	6/01/23 05:00 PM	2	
4		B	1 day	7/01/23 08:00 AM	7/01/23 05:00 PM	3	
5		C	3 days	7/01/23 08:00 AM	10/01/23 05:00 PM	3	
6		D	4 days	9/01/23 08:00 AM	12/01/23 05:00 PM	4	
7		E	2 days	13/01/23 08:00 AM	14/01/23 05:00 PM	4;5;6	
8		F	6 days	11/01/23 08:00 AM	17/01/23 05:00 PM	5	
9		G	1 day	18/01/23 08:00 AM	18/01/23 05:00 PM	7;8	
10		Fin	0 days	18/01/23 05:00 PM	18/01/23 05:00 PM	9	

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:

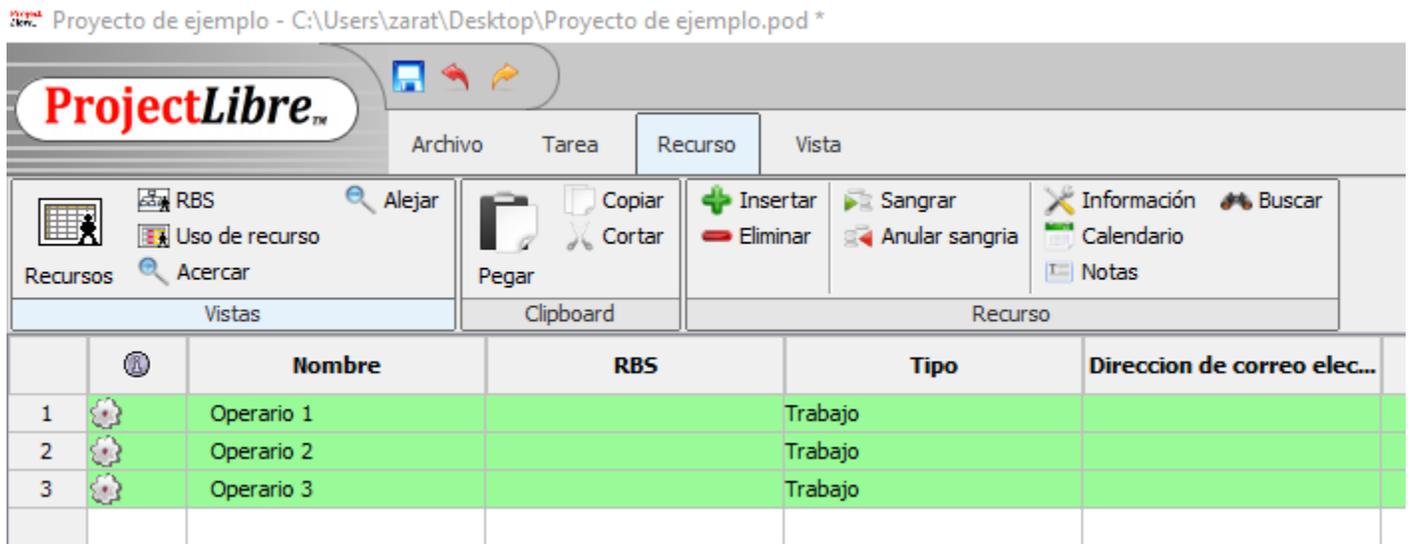


Para regresar a la vista anterior, se selecciona la opción “Gantt”. Presionando con el botón derecho sobre los títulos de las columnas en la vista del diagrama de Gantt se pueden añadir y ocultar columnas. Entre estas, algunas de las más útiles son las de “Holgura total”, “Porcentaje completado” y “Costo 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.

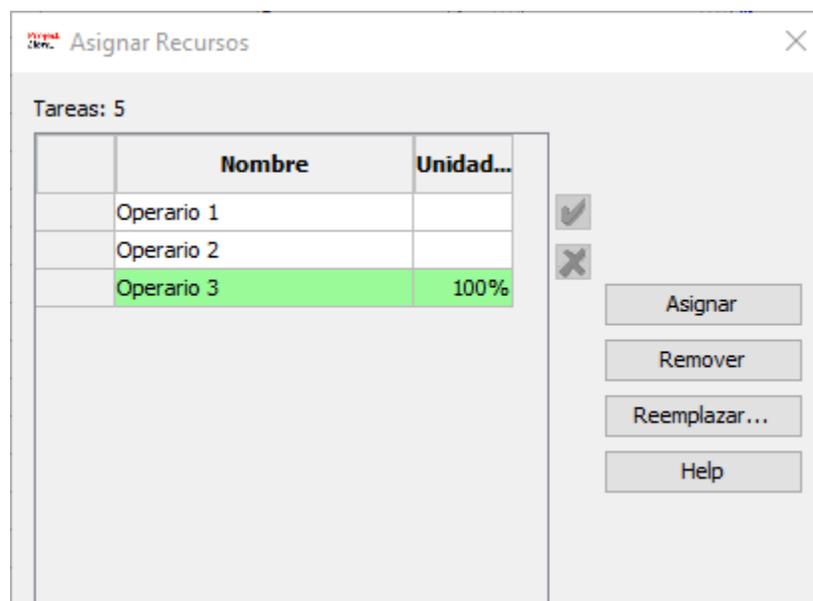
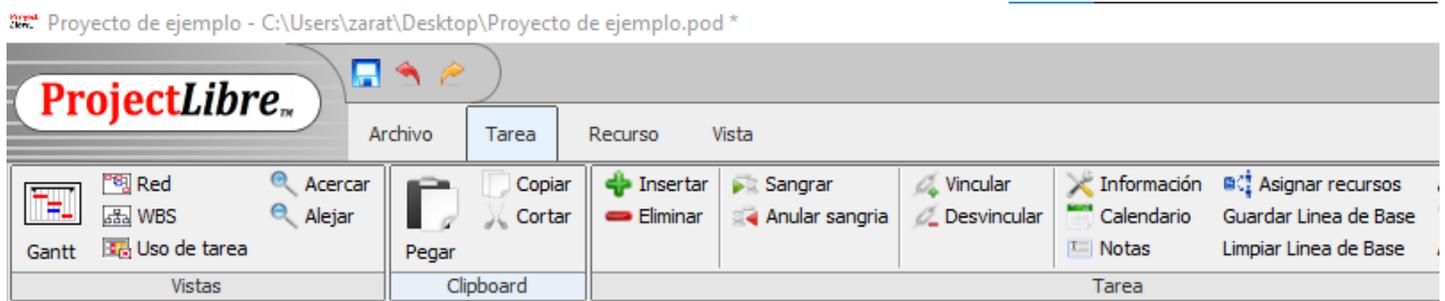
		Nombre	Duracion	Inicio	Terminado
1		Proyecto	12	5/01/23 08:00 AM	18/01/23 05:00 PM
2		Inicio		5/01/23 08:00 AM	
3		A	2	6/01/23 05:00 PM	
4		B	1 day	7/01/23 08:00 AM	7/01/23 05:00 PM

	Terminado	Predecesores	Holgura tot...	Porcentaje completo	Costo Fijo
1	7/01/23 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

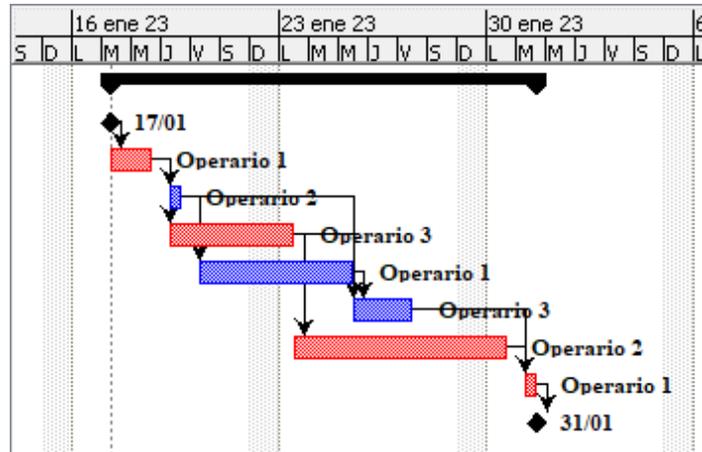
En la pestaña “Recurso”, la opción de “Recursos”, abre una tabla donde se pueden agregar recursos materiales y fuerza de trabajo:



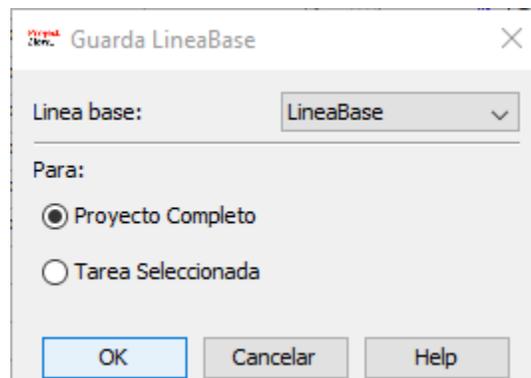
Estos recursos pueden ser asignado a actividades específicas, si se colocar el costo por hora del recurso, este será sumado al total de la actividad. En la pestaña “Tarea” se busca la opción “Asignar recursos”.



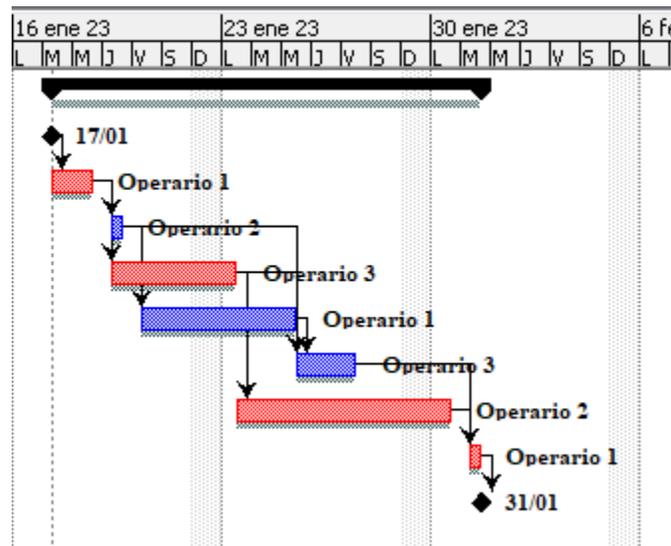
Los recursos asignados aparecerán en el diagrama de Gantt, esto puede utilizarse para delegar responsabilidades de las distintas actividades.



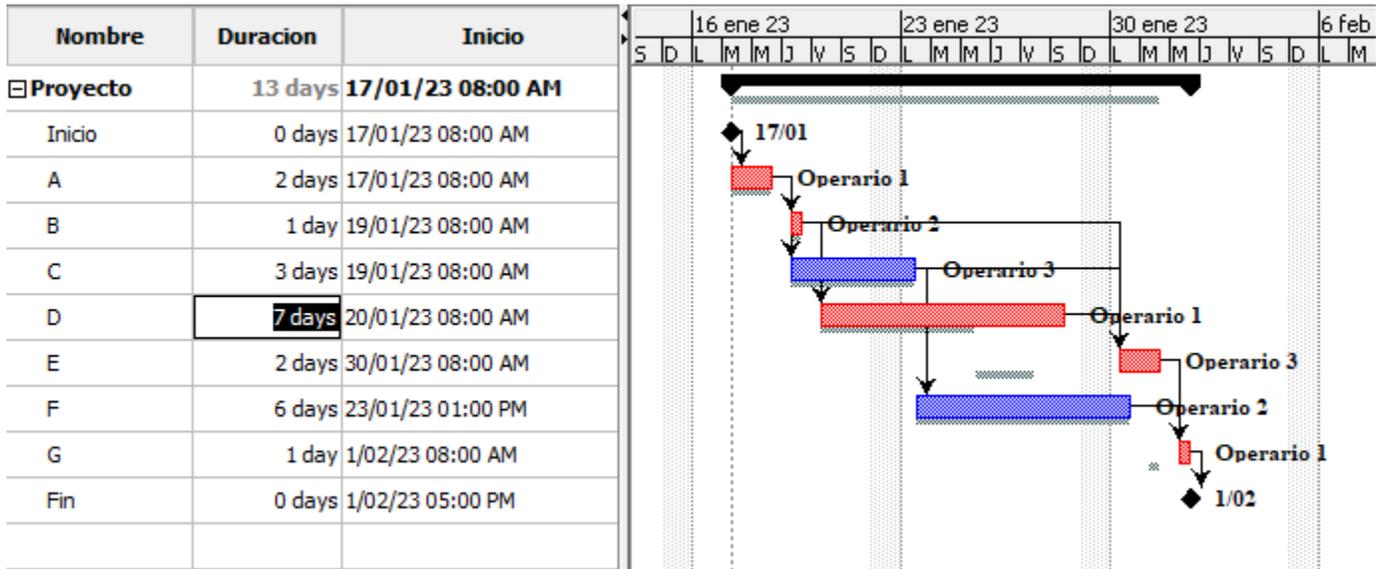
Una vez configurada la planificación del proyecto, se puede dejar la configuración inicial de referencia para poderlo comparar con el desempeño real de las actividades. Para ello, se utiliza la opción “Guardar Línea Base” en la pestaña de “Tarea”.



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



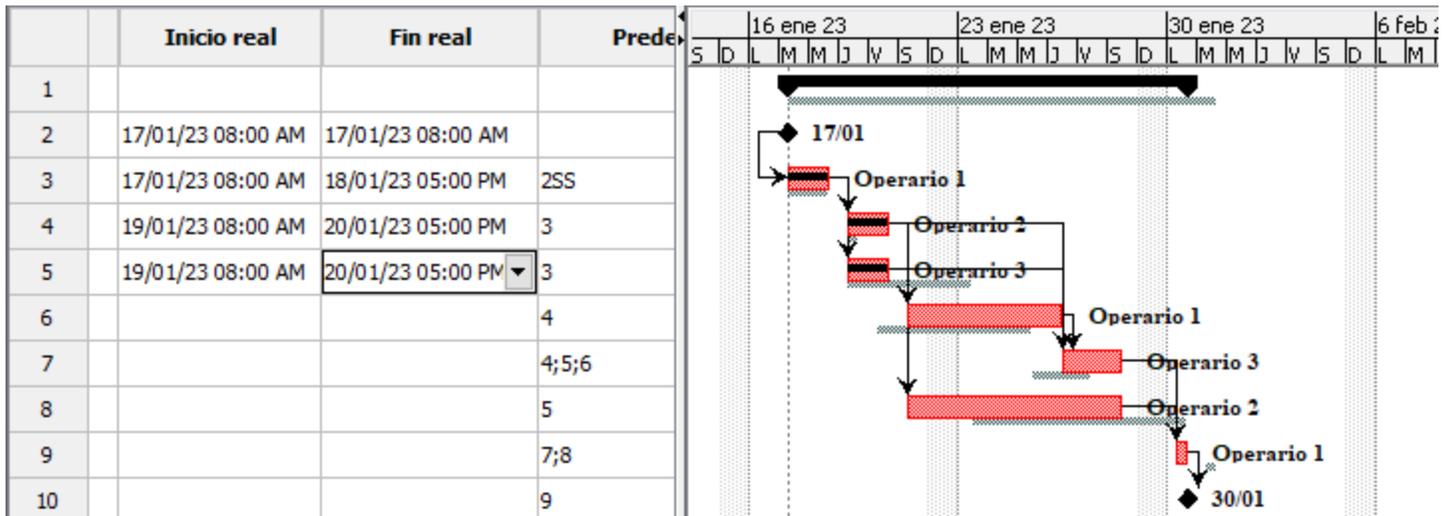
Estas sombras indican la posición “inicial” de los tiempos de las actividades. Por ejemplo, si por alguna razón una actividad se atrasa, las barras de progreso se moverán, mientras que las sombras permanecerán en su mismo lugar. En este caso, se ha aumentado la duración de la actividad D a 7 días.



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		
4	19/01/23 08:00 AM	19/01/23 05:00 PM		
5	19/01/23 08:00 AM	23/01/23 01:00 PM		
6	20/01/23 08:00 AM	25/01/23 01:00 PM		
7	25/01/23 01:00 PM	27/01/23 01:00 PM		
8	23/01/23 01:00 PM	30/01/23 05:00 PM		
9	31/01/23 08:00 AM	31/01/23 05:00 PM		
10	31/01/23 05:00 PM	31/01/23 05:00 PM		

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.



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.

	Ⓜ	Nombre	Duración
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 las horas de trabajo para el personal asignado.

	Nombre	Trabajo	Duración		16 ene 23	23 ene 23	30 ene 23	6 feb 23		
1	☐ Proyecto	152 horas	11 days	Trabajo	8h	8h	16h	16h	8h	0h
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.