

## EJERCICIO 1

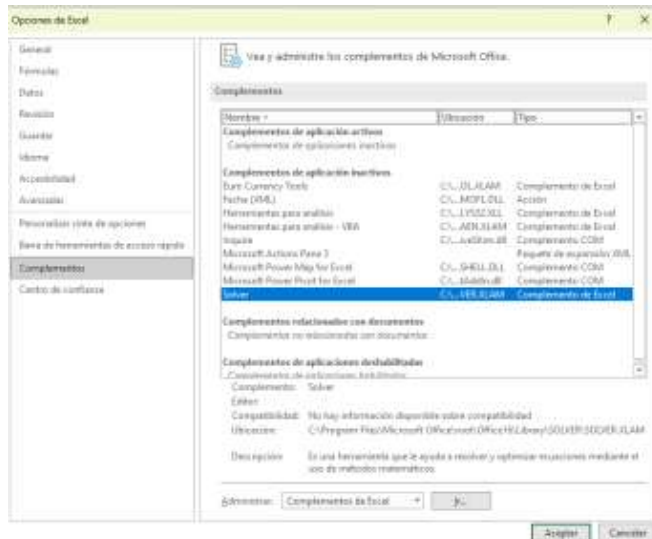
# Solucionador en Excel

Excel incluye una herramienta llamada Solver que utiliza técnicas de la investigación de operaciones, un campo centrado en la optimización de decisiones, para resolver todo tipo de problemas.

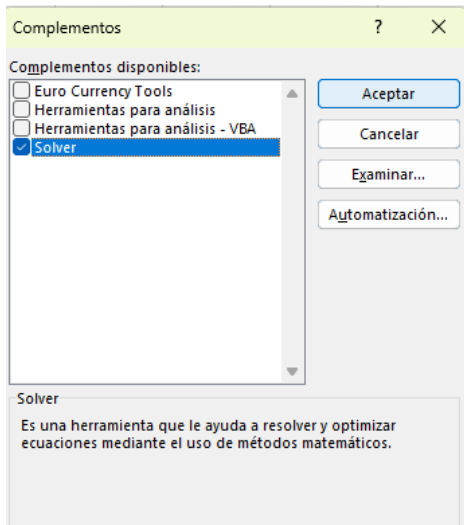
Cargar el complemento Solver

Para cargar el complemento Solver, ejecute los siguientes pasos.

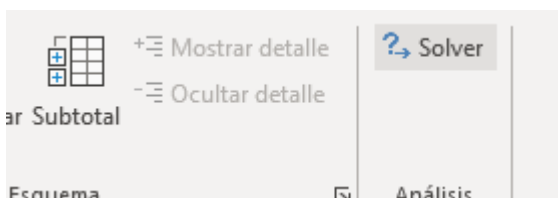
1. En la pestaña Archivo, haga clic en Opciones.
2. En Complementos, seleccione Complemento Solver y haga clic en el botón Ir.



3. Marque el complemento Solver y haga clic en Aceptar.

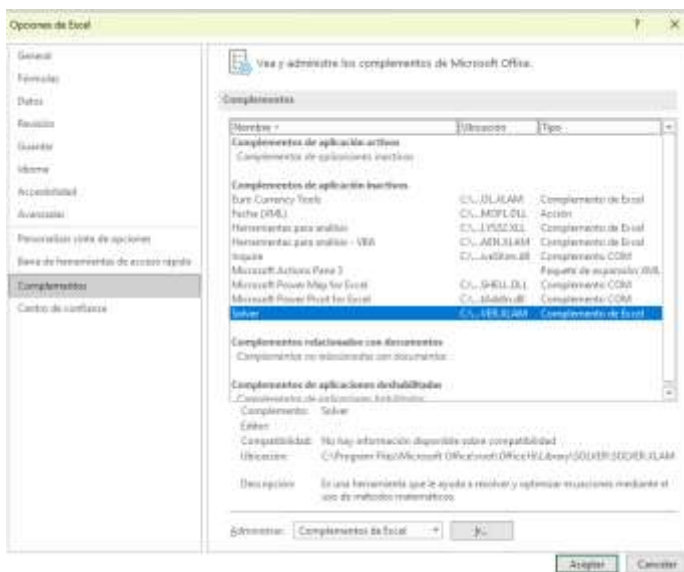


4. Puede encontrar el solucionador en la pestaña Datos, en el grupo Analizar.



## Formular el modelo

El modelo que vamos a resolver se ve así en Excel.



1. Para formular este modelo de programación lineal, responda las siguientes tres preguntas.

a. ¿Qué decisiones se deben tomar? Para este problema, necesitamos que Excel determine la cantidad a pedir de cada producto (bicicletas, ciclomotores y sillas de ruedas).

b. ¿Cuáles son las restricciones de estas decisiones? Las restricciones en este caso son que la cantidad de capital y almacenamiento utilizada por los productos no puede exceder la cantidad limitada de capital y almacenamiento (recursos) disponible. Por ejemplo, cada bicicleta utiliza 300 unidades de capital y 0,5 unidades de almacenamiento.

c. ¿Cuál es la medida general del rendimiento de estas decisiones? La medida general del rendimiento es la ganancia total de los tres productos, por lo que el objetivo es maximizar esta cantidad.

2. Para que el modelo sea más fácil de entender, cree los siguientes rangos con nombre.

Nombre del rango	Células
Beneficio unitario	C4:E4
Tamaño del pedido	C12:E12
Recursos utilizados	G7:G8
Recursos disponibles	I7:I8
Beneficio total	I12

3. Inserte las siguientes tres funciones SUMPRODUCTO.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	BICICLETAS								
2									
3			BICICLETAS	CICLOMOTORES	ASIENTOS PARA NIÑOS				
4		BENEFICIO POR UNIDAD	100	300	50		RECURSOS		RECURSOS
5							UTILIZADOS		DISPONIBLES
6									
7		CAPITAL	300	1200	120	PRODUCTO(C7:D7,TAMAÑO	≤		93000
8		ALMACENAMIENTO	0.5	1	0.5	PRODUCTO(C8:D8,TAMAÑO	≤		101
9									
10									
11			BICICLETAS	CICLOMOTORES	ASIENTOS PARA NIÑOS				BENEFICIO TOTAL
12		TAMAÑO DEL PEDIDO	0	0	0				SUMAPRODUCTO(B2NE
13									

Explicación: La cantidad de capital utilizada es igual a la suma del producto del rango C7:E7 y el tamaño del pedido. La cantidad de almacenamiento utilizada es igual a la suma del

producto del rango C8:E8 y el tamaño del pedido. La ganancia total es igual a la suma del producto de la ganancia unitaria y el tamaño del pedido.

## Prueba y error

Con esta formulación resulta fácil analizar cualquier solución de prueba.

Por ejemplo, si pedimos 20 bicicletas, 40 ciclomotores y 100 sillas infantiles, la cantidad total de recursos utilizados no supera la cantidad de recursos disponibles. Esta solución genera una ganancia total de 19 000.

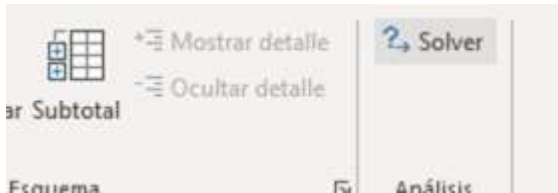
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	BICICLETAS								
2									
3			BICICLETAS	CICLOMOTORES	ASIENTOS PARA NIÑOS				
4		BENEFICIO POR UNIDAD	100	300	50		RECURSOS UTILIZADOS		RECURSOS DISPONIBLES
5									
6									
7		CAPITAL	300	1200	120		66000	≤	93000
8		ALMACENAMIENTO	0.5	1	0.5		100	≤	101
9									
10									
11			BICICLETAS	CICLOMOTORES	ASIENTOS PARA NIÑOS				BENEFICIO TOTAL
12		TAMAÑO DEL PEDIDO	20	40	100				19000
13									

No es necesario usar el método de prueba y error. A continuación, describiremos cómo usar Excel Solver para encontrar rápidamente la solución óptima.

## Resolver el modelo

Para encontrar la solución óptima, ejecute los siguientes pasos.

1. En la pestaña Datos, en el grupo Analizar, haga clic en Solucionador.



Introduzca los parámetros del solucionador (siga leyendo). El resultado debería ser similar al de la imagen siguiente.



Tiene la opción de escribir los nombres de los rangos o hacer clic en las celdas de la hoja de cálculo.

2. Ingrese TotalProfit para el objetivo.

3. Haga clic en Máx.

4. Ingrese OrderSize para las celdas de variable cambiante.

5. Haga clic en Agregar para ingresar la siguiente restricción.

**Cambiar restricción**

Referencia de celda:   Restricción:

6. Marque la opción 'Hacer que las variables sin restricciones sean no negativas' y seleccione 'LP simple'.

7. Por último, haga clic en Resolver.

Resultado:

**Resultados de Solver**

Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.

☒ Conservar solución de Solver  
☐ Restaurar valores originales

☐ Volver al cuadro de diálogo de parámetros de Solver ☐ Informes de esquema

**Informes**  
 Responder  
 Sensibilidad  
 Límites

Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.

Al usar el motor GRG, Solver ha encontrado al menos una solución óptima local. Al usar Simplex LP, significa que Solver ha encontrado una solución óptima global.

La solución óptima:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>BICICLETAS</b>								
2									
3			BICICLETAS CICLOMOTORES ASIENTOS PARA NIÑOS						
4		BENEFICIO POR UNIDAD	100	300	50		RECURSOS		RECURSOS
5							UTILIZADOS		DISPONIBLES
6									
7		CAPITAL	300	1200	120		93000	≤	93000
8		ALMACENAMIENTO	0,5	1	0,5		101	≤	101
9									
10									
11			BICICLETAS CICLOMOTORES ASIENTOS PARA NIÑOS						BENEFICIO TOTAL
12		TAMAÑO DEL PEDIDO	94	54	0				25600

## EJERCICIO 2

Utilice el solucionador de Excel para encontrar la cantidad de unidades a enviar desde cada fábrica a cada cliente que minimice el costo total.

El modelo que vamos a resolver se ve así en Excel.

[illegible]





Explicación: Las funciones SUMA calculan el total enviado desde cada fábrica (Total de Salida) a cada cliente (Total de Entrada). El Costo Total es igual a la suma del producto del Costo Unitario y los Envíos.

## Prueba y error

Con esta formulación resulta fácil analizar cualquier solución de prueba.

Por ejemplo, si enviamos 100 unidades de la Fábrica 1 al Cliente 1, 200 unidades de la Fábrica 2 al Cliente 2, 100 unidades de la Fábrica 3 al Cliente 1 y 200 unidades de la Fábrica 3 al Cliente 3, la Salida Total es igual a la Oferta y la Entrada Total es igual a la Demanda. Esta solución tiene un coste total de 27 800.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	PROBLEMA DE TRANSPORTE								
2									
3		COSTO UNITARIO	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3				
4		FABRICA 1	40	47	80				
5		FABRICA 2	72	36	58				
6		FABRICA 3	24	61	71				
7									
8									
9		ENVÍOS	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3	TOTAL SALIENTE	=	OFERTA	
10		FABRICA 1	100	0	0	100	=	100	
11		FABRICA 2	0	200	0	200	=	200	
12		FABRICA 3	100	0	200	300	=	300	
13									
14		TOTAL ENTRANTE	0	0	0				
15			=	=	=			COSTO TOTAL	
16		DEMANDA	200	200	200				27800

Explicación: Las funciones SUMA calculan el total enviado desde cada fábrica (Total de Salida) a cada cliente (Total de Entrada). El Costo Total es igual a la suma del producto del Costo Unitario y los Envíos.

## Prueba y error

Con esta formulación resulta fácil analizar cualquier solución de prueba.

Por ejemplo, si enviamos 100 unidades de la Fábrica 1 al Cliente 1, 200 unidades de la Fábrica 2 al Cliente 2, 100 unidades de la Fábrica 3 al Cliente 1 y 200 unidades de la Fábrica 3 al Cliente 3, la Salida

Total es igual a la Oferta y la Entrada Total es igual a la Demanda.  
Esta solución tiene un coste total de 27 800.

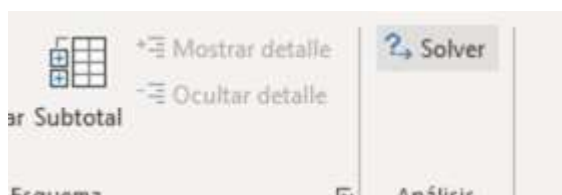
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	PROBLEMA DE TRANSPORTE								
2									
3		COSTO UNITARIO	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3				
4		FABRICA 1	40	47	80				
5		FABRICA 2	72	36	58				
6		FABRICA 3	24	61	71				
7									
8									
9		ENVIOS	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3		TOTAL SALIENTE		OFERTA
10		FABRICA 1	100	0	0		100	=	100
11		FABRICA 2	0	200	0		200	=	200
12		FABRICA 3	100	0	200		300	=	300
13									
14		TOTAL ENTRANTE	0	0	0				
15			+	+	+				COSTO TOTAL
16		DEMANDA	200	200	200				27800

No es necesario usar el método de prueba y error. A continuación, describiremos cómo usar Excel Solver para encontrar rápidamente la solución óptima.

## Resolver el modelo

Para encontrar la solución óptima, ejecute los siguientes pasos.

1. En la pestaña Datos, en el grupo Analizar, haga clic en Solucionador.



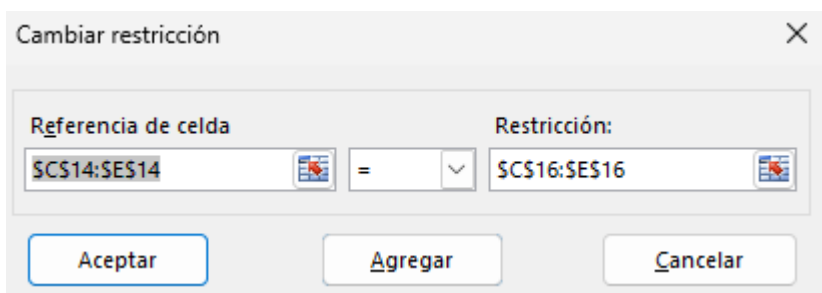
Nota: ¿No encuentra el botón Solver? Haga clic aquí para cargar el complemento Solver.

Introduzca los parámetros del solucionador (siga leyendo). El resultado debería ser similar al de la imagen siguiente.



Tiene la opción de escribir los nombres de los rangos o hacer clic en las celdas de la hoja de cálculo.

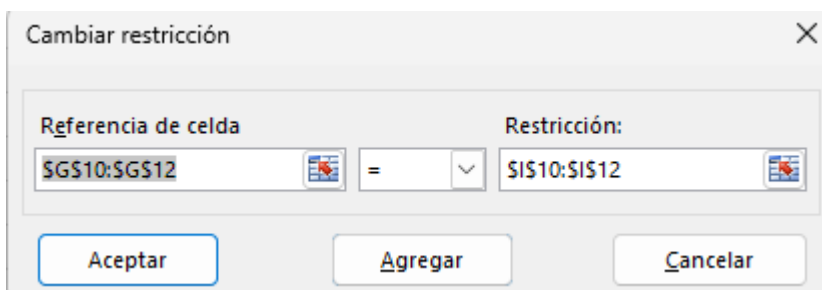
2. Ingrese el costo total para el objetivo.
3. Haga clic en Mín.
4. Ingrese envíos para las celdas de variables cambiantes.
5. Haga clic en Agregar para ingresar la siguiente restricción.



Cambiar restricción

Referencia de celda:  =

6. Haga clic en Agregar para ingresar la siguiente restricción.



Cambiar restricción

Referencia de celda:  =

7. Marque la opción 'Hacer que las variables sin restricciones sean no negativas' y seleccione 'LP simple'.

8. Por último, haga clic en Resolver.

Resultado:

Resultados de Solver									
Solver no encontró ninguna solución viable.									
<input checked="" type="radio"/> Conservar solución de Solver <input type="radio"/> Restaurar valores originales					<b>Informes</b> Viabilidad Límites de viabilidad				
<input type="checkbox"/> Volver al cuadro de diálogo de parámetros de Solver					<input type="checkbox"/> Informes de esquema				
Aceptar			Cancelar			Guardar escenario...			

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	PROBLEMA DE TRANSPORTE								
2									
3		COSTO UNITARIO	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3				
4		FABRICA 1	40	47	80				
5		FABRICA 2	72	36	58				
6		FABRICA 3	24	61	71				
7									
8									
9		ENVIOS	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 3		TOTAL SALIENTE		OFERTA
10		FABRICA 1	0	100	0		100	=	100
11		FABRICA 2	0	100	100		200	=	200
12		FABRICA 3	200	0	100		300	=	300
13									
14		TOTAL ENTRANTE	200	200	200				
15			=	=	=				COSTO TOTAL
16		DEMANDA	200	200	200				26000

Conclusión: lo óptimo es enviar 100 unidades desde la Fábrica 1 al Cliente 2, 100 unidades desde la Fábrica 2 al Cliente 2, 100 unidades desde la Fábrica 2 al Cliente 3, 200 unidades desde la Fábrica 3 al

Cliente 1 y 100 unidades desde la Fábrica 3 al Cliente 3. Esta solución da un coste mínimo de 26000. Se cumplen todas las restricciones.

### EJERCICIO 3

## **Problema de asignación en Excel**

Utilice el solucionador de Excel para encontrar la asignación de personas a tareas que minimice el costo total.

Formular el modelo

El modelo que vamos a resolver se ve así en Excel.

3	Cost	Task 1	Task 2	Task 3				
4	Person 1	40	47	80				
5	Person 2	72	36	58				
6	Person 3	24	61	71				
7								
8								
9	Assignment	Task 1	Task 2	Task 3	Tasks Assigned	=	Supply	
10	Person 1	0	0	0	0	=	1	
11	Person 2	0	0	0	0	=	1	
12	Person 3	0	0	0	0	=	1	
13								
14	Persons Assigned	0	0	0				
15		=	=	=			Total Cost	
16	Demand	1	1	1			0	
17								

1. Para formular este problema de asignación, responda las siguientes tres preguntas.

**a.** ¿Qué decisiones se deben tomar? Para este problema, necesitamos que Excel determine a qué persona asignar cada tarea (Sí = 1, No = 0). Por ejemplo, si asignamos a la Persona 1 a la Tarea 1, la celda C10 es igual a 1. Si no, la celda C10 es igual a 0.

**b.** ¿Cuáles son las restricciones de estas decisiones? Cada persona solo puede realizar una tarea (Oferta = 1). Cada tarea solo requiere una persona (Demanda = 1).

**c.** ¿Cuál es la medida general del rendimiento de estas decisiones? La medida general del rendimiento es el coste total de la tarea, por lo que el objetivo es minimizar esta cantidad.

2. Para que el modelo sea más fácil de entender, cree los siguientes rangos con nombre.

3. Inserte las siguientes funciones.

Nombre del rango	Células
Costo	C4:E6
Asignación	C10:E12
Personas asignadas	C14:E14
Demanda	C16:E16
Tareas asignadas	G10:G12
Suministrar	I10:I12
Costo total	I16

C	D	E	F	G	H	I	
Task 1	Task 2	Task 3					
40	47	80					
72	36	58					
24	61	71					
Task 1	Task 2	Task 3	Tasks Assigned		Supply		
0	0	0	=SUM(C10:E10)	=	1		
0	0	0	=SUM(C11:E11)	=	1		
0	0	0	=SUM(C12:E12)	=	1		
=SUM(C10:C12)			=SUM(D10:D12)			=SUM(E10:E12)	
=			=			=	
1			1			1	
						Total Cost	
						=SUMPRODUCT(Cost,Assignment)	

Explicación: La función SUMA calcula el número de tareas asignadas a una persona y el número de personas asignadas a una tarea. El Costo Total es igual a la suma del producto del Costo y la Asignación. Prueba y error

Con esta formulación resulta fácil analizar cualquier solución de prueba.

Por ejemplo, si asignamos a la Persona 1 a la Tarea 1, a la Persona 2 a la Tarea 2 y a la Persona 3 a la Tarea 3, las Tareas Asignadas equivalen a la Oferta y las Personas Asignadas a la Demanda. Esta solución tiene un coste total de 147.

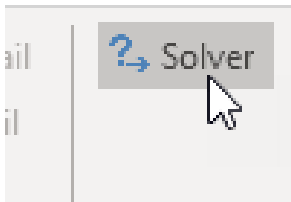
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Assignment Problem									
2										
3		Cost	Task 1	Task 2	Task 3					
4		Person 1	40	47	80					
5		Person 2	72	36	58					
6		Person 3	24	61	71					
7										
8										
9		Assignment	Task 1	Task 2	Task 3	Tasks Assigned		Supply		
10		Person 1	1	0	0	1	=	1		
11		Person 2	0	1	0	1	=	1		
12		Person 3	0	0	1	1	=	1		
13										
14		Persons Assigned	1	1	1					
15			=	=	=			Total Cost		
16		Demand	1	1	1			147		
17										

No es necesario usar el método de prueba y error. A continuación, describiremos cómo usar Excel Solver para encontrar rápidamente la solución óptima.

Resolver el modelo

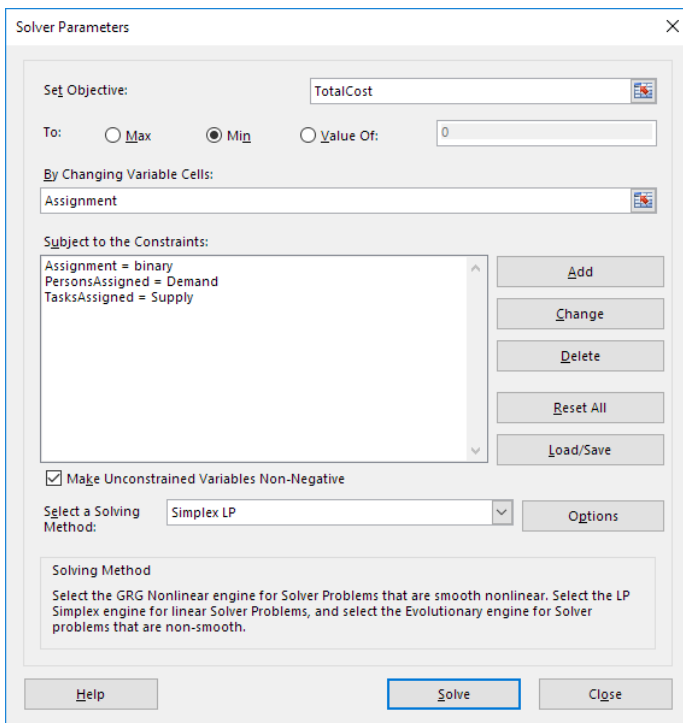
Para encontrar la solución óptima, ejecute los siguientes pasos.

1. En la pestaña Datos, en el grupo Analizar, haga clic en Solucionador.



Nota: ¿No encuentra el botón Solver? Haga clic aquí para cargar el complemento Solver.

Introduzca los parámetros del solucionador (siga leyendo). El resultado debería ser similar al de la imagen siguiente.



Tiene la opción de escribir los nombres de los rangos o hacer clic en las celdas de la hoja de cálculo.

2. Ingrese el costo total para el objetivo.

3. Haga clic en Mín.

4. Ingrese la asignación para las celdas de variables cambiantes.

5. Haga clic en Agregar para ingresar la siguiente restricción.





9. Por último, haga clic en Resolver.

[illegible]

2								
3		Cost	Task 1	Task 2	Task 3			
4		Person 1	40	47	80			
5		Person 2	72	36	58			
6		Person 3	24	61	71			
7								
8								
9		Assignment	Task 1	Task 2	Task 3	Tasks Assigned		Supply
10		Person 1	0	1	0	1	=	1
11		Person 2	0	0	1	1	=	1
12		Person 3	1	0	0	1	=	1
13								
14		Persons Assigned	1	1	1			
15			=	=	=			Total Cost
16		Demand	1	1	1			129
17								

Conclusión: es óptimo asignar a la Persona 1 a la Tarea 2, a la Persona 2 a la Tarea 3 y a la Persona 3 a la Tarea 1. Esta solución da el costo mínimo de 129. Se satisfacen todas las restricciones.

## EJERCICIO 4

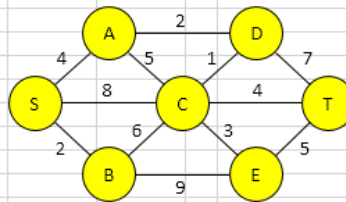
# Problema de la ruta más corta en Excel

Usa el solucionador de Excel para encontrar la ruta más corta del nodo S al nodo T en una red no dirigida. Los puntos de una red se llaman nodos (S, A, B, C, D, E y T). Las líneas de una red se llaman arcos (SA, SB, SC, AC, etc.).

Formular el modelo

El modelo que vamos a resolver se ve así en Excel.

	From	To	Distance	Go	Nodes	Net Flow	Supply/Demand
4	S	A	4	0	S	0	= 1
5	S	B	2	0	A	0	= 0
6	S	C	8	0	B	0	= 0
7	A	C	5	0	C	0	= 0
8	A	D	2	0	D	0	= 0
9	B	C	6	0	E	0	= 0
10	B	E	9	0	T	0	= -1
11	C	A	5	0			
12	C	B	6	0			
13	C	D	1	0			
14	C	E	3	0			
15	C	T	4	0			
16	D	A	2	0			
17	D	C	1	0			
18	D	T	7	0			
19	E	B	9	0			
20	E	C	3	0			
21	E	T	5	0			
22							
23			Total Distance	0			



1. Para formular este problema de camino más corto , responda las siguientes tres preguntas.

**a.** ¿Qué decisiones se deben tomar? Para este problema, necesitamos que Excel determine si un arco se encuentra en la ruta más corta (Sí = 1, No = 0). Por ejemplo, si SB forma parte de la ruta más corta, la celda F5 es igual a 1. Si no, la celda F5 es igual a 0.

**b.** ¿Cuáles son las restricciones de estas decisiones? El flujo neto (flujo de salida - flujo de entrada) de cada nodo debe ser igual a la oferta/demanda. El nodo S solo debe tener un arco de salida (flujo neto = 1). El nodo T solo debe tener un arco de entrada (flujo neto = -

1). Todos los demás nodos deben tener un arco de salida y uno de entrada si el nodo se encuentra en la ruta más corta (flujo neto = 0) o no tiene flujo (flujo neto = 0).

**C.** ¿Cuál es la medida general del rendimiento de estas decisiones? La medida general del rendimiento es la distancia total del camino más corto, por lo que el objetivo es minimizar esta cantidad.

2. Para que el modelo sea más fácil de entender, cree los siguientes rangos con nombre.

Nombre del rango	Células
De	B4:B21
A	C4:C21
Distancia	D4:D21
Ir	F4:F21
Flujo de red	I4:I10
Oferta y demanda	K4:K10
Distancia total	F23

3. Inserte las siguientes funciones.

F	G	H	I	J	K	
Go		Nodes	Net Flow	Supply/Demand		
0		S	=SUMIF(Ir,H4:G4)	=1		
0		A	=SUMIF(Ir,H5:G5)-SUMIF(Ta,H5:G5)	=0		
0		B	=SUMIF(Ir,H6:G6)-SUMIF(Ta,H6:G6)	=0		
0		C	=SUMIF(Ir,H7:G7)-SUMIF(Ta,H7:G7)	=0		
0		D	=SUMIF(Ir,H8:G8)-SUMIF(Ta,H8:G8)	=0		
0		E	=SUMIF(Ir,H9:G9)-SUMIF(Ta,H9:G9)	=0		
0		T	=SUMIF(Ta,H10:G10)	=-1		
0						
0						
0						
=SUMPRODUCT(Datasrc,Go)						

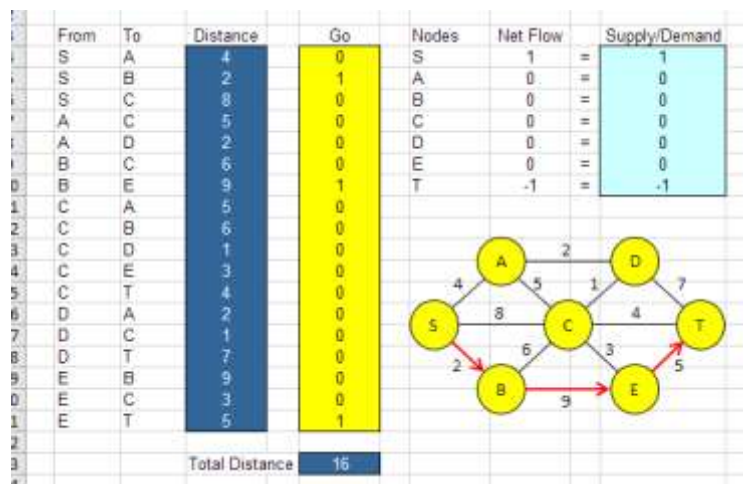
Explicación: La función SUMAR.SI calcula el flujo neto de cada nodo. Para el nodo S, la función SUMAR.SI suma los valores de la columna Ir con una "S" en la columna Desde. Como resultado, solo las celdas F4, F5 o F6 pueden ser 1 (un arco de salida). Para el nodo T, la función SUMAR.SI suma los valores de la columna Ir con una "T" en la columna Hasta.

Como resultado, solo las celdas F15, F18 o F21 pueden ser 1 (un arco de entrada). Para todos los demás nodos, Excel consulta las columnas Desde y Hasta. La distancia total es igual a la suma del producto de Distancia por Ir.

## Prueba y error

Con esta formulación resulta fácil analizar cualquier solución de prueba.

1. Por ejemplo, la ruta SBET tiene una distancia total de 16.

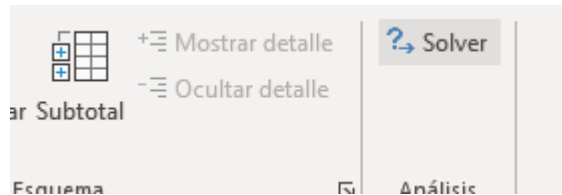


No es necesario usar el método de prueba y error. A continuación, describiremos cómo usar Excel Solver para encontrar rápidamente la solución óptima.

## Resolver el modelo

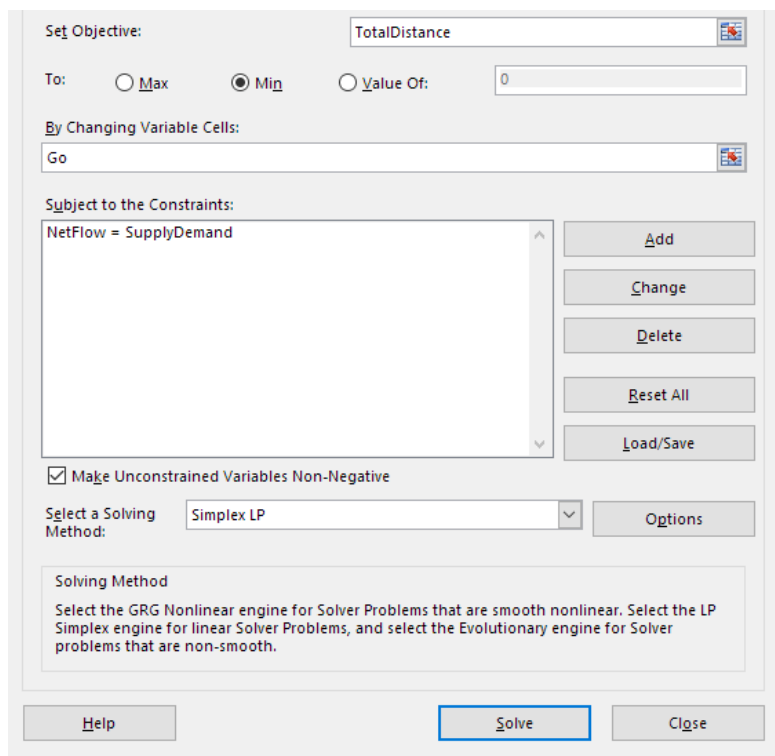
Para encontrar la solución óptima, ejecute los siguientes pasos.

1. En la pestaña Datos, en el grupo Analizar, haga clic en Solucionador.



Nota: ¿No encuentra el botón Solver? Haga clic aquí para cargar el complemento Solver.

Introduzca los parámetros del solucionador (siga leyendo). El resultado debería ser similar al de la imagen siguiente.



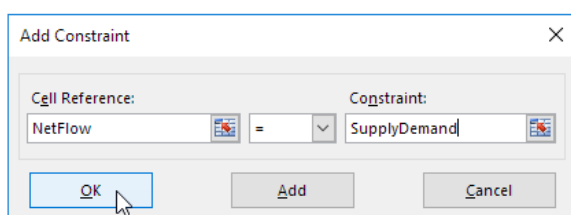
Tiene la opción de escribir los nombres de los rangos o hacer clic en las celdas de la hoja de cálculo.

2. Ingrese la distancia total para el objetivo.

3. Haga clic en Mín.

4. Ingrese a Ir para Cambiar celdas de variables.

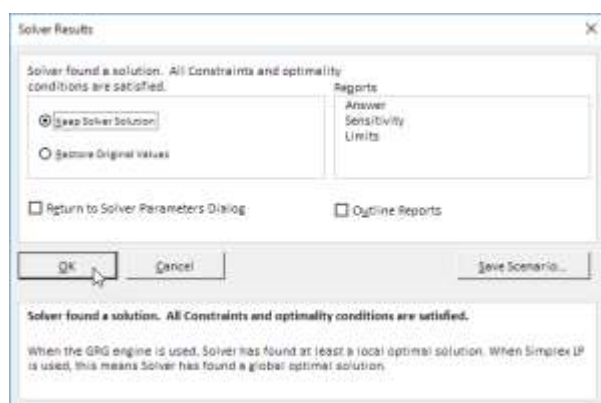
5. Haga clic en Agregar para ingresar la siguiente restricción.



6. Marque la opción 'Hacer que las variables sin restricciones sean no negativas' y seleccione 'LP simple'.

7. Por último, haga clic en Resolver.

Resultado:



La solución óptima:

Conclusión: SADCT es el camino más corto con una distancia total de 11.

	From	To	Distance	Go	Nodes	Net Flow	Supply/Demand
1	S	A	4	1	S	1	1
2	S	B	2	0	A	0	0
3	S	C	8	0	B	0	0
4	A	C	5	0	C	0	0
5	A	D	2	1	D	0	0
6	B	C	5	0	E	0	0
7	B	E	9	0	T	-1	-1
8	C	A	5	0			
9	C	B	6	0			
10	C	D	1	0			
11	C	E	3	1			
12	D	A	2	0			
13	D	C	1	1			
14	D	E	7	0			
15	E	B	5	0			
16	E	C	5	0			
17	E	T	5	0			
18	Total Distance			11			

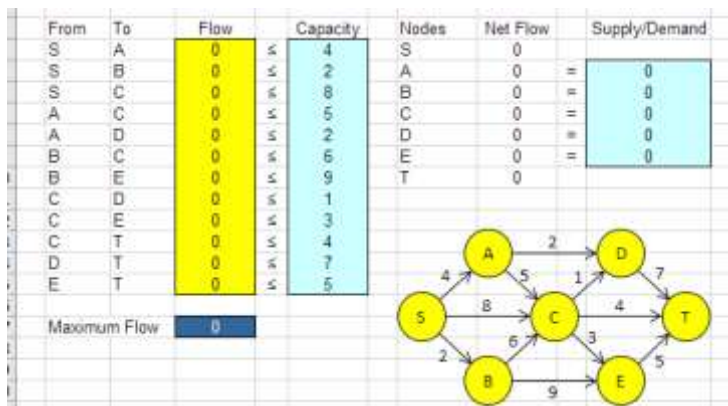
## EJERCICIO 5

# Problema de flujo máximo en Excel

Utilice el solucionador de Excel para calcular el flujo máximo del nodo S al nodo T en una red dirigida. Los puntos de una red se denominan nodos (S, A, B, C, D, E y T). Las líneas de una red se denominan arcos (SA, SB, SC, AC, etc.).

Formular el modelo

El modelo que vamos a resolver se ve así en Excel.



1. Para formular este problema de flujo máximo, responda las siguientes tres preguntas.

a. ¿Qué decisiones se deben tomar? Para este problema, necesitamos que Excel calcule el flujo en cada arco. Por ejemplo, si el flujo en SB es 2, la celda D5 equivale a 2.

b. ¿Cuáles son las restricciones de estas decisiones? El flujo neto (flujo de salida - flujo de entrada) de los nodos A, B, C, D y E debe ser igual a 0. En otras palabras, flujo de salida = flujo de entrada. Además, cada arco tiene una capacidad fija. El flujo en cada arco debe ser menor que esta capacidad.

c. ¿Cuál es la medida general del rendimiento de estas decisiones? La medida general del rendimiento es el flujo máximo, por lo que el objetivo es maximizar esta cantidad. El flujo máximo equivale al flujo de salida del nodo S.

2. Para que el modelo sea más fácil de entender, cree los siguientes rangos con nombre.

Nombre del rango	Células
De	B4:B15
A	C4:C15
Fluir	D4:D15
Capacidad	F4:F15
Oferta y demanda	K5:K9
Flujo máximo	D17

3. Inserte las siguientes funciones.

Flow	Capacity	Nodes	Net Flow	Supply/Demand
0	≤ 4	S	=SUMIF(From,H4,Flow)	
0	≤ 2	A	=SUMIF(From,H5,Flow)-SUMIF(To,H5,Flow)	= 0
0	≤ 8	B	=SUMIF(From,H6,Flow)-SUMIF(To,H6,Flow)	= 0
0	≤ 5	C	=SUMIF(From,H7,Flow)-SUMIF(To,H7,Flow)	= 0
0	≤ 2	D	=SUMIF(From,H8,Flow)-SUMIF(To,H8,Flow)	= 0
0	≤ 6	E	=SUMIF(From,H9,Flow)-SUMIF(To,H9,Flow)	= 0
0	≤ 9	T	=-SUMIF(To,H10,Flow)	
0	≤ 1			
0	≤ 3			
0	≤ 4			
0	≤ 7			
0	≤ 5			
=I4				

Explicación: Las funciones SUMAR.SI calculan el flujo neto de cada nodo. Para el nodo A, la primera función SUMAR.SI suma los valores de la columna Flujo con una "A" en la columna Desde (Flujo de salida). La segunda función SUMAR.SI suma los valores de la columna Flujo con una "A" en la columna Hasta (Flujo de entrada). El flujo máximo es igual al valor de la celda I4, que corresponde al flujo de salida del nodo S. Dado que los nodos A, B, C, D y E tienen un flujo neto de 0, el flujo de salida del nodo S será igual al flujo de entrada del nodo T.

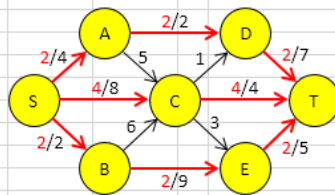


# Prueba y error

Con esta formulación resulta fácil analizar cualquier solución de prueba.

1. Por ejemplo, la ruta SADT con un caudal de 2. La ruta SCT con un caudal de 4. La ruta SBET con un caudal de 2. Estas rutas dan un caudal total de 8.

	From	To	Flow		Capacity	Nodes	Net Flow	Supply/Demand
4	S	A	2	≤	4	S	8	
5	S	B	2	≤	2	A	0	= 0
6	S	C	4	≤	8	B	0	= 0
7	A	C	0	≤	5	C	0	= 0
8	A	D	2	≤	2	D	0	= 0
9	B	C	0	≤	6	E	0	= 0
10	B	E	2	≤	9	T	-8	
11	C	D	0	≤	1			
12	C	E	0	≤	3			
13	C	T	4	≤	4			
14	D	T	2	≤	7			
15	E	T	2	≤	5			
16								
17	Maximum Flow		8					
18								
19								
20								
21								

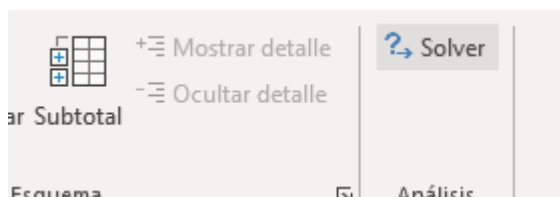


No es necesario usar el método de prueba y error. A continuación, describiremos cómo usar Excel Solver para encontrar rápidamente la solución óptima.

## Resolver el modelo

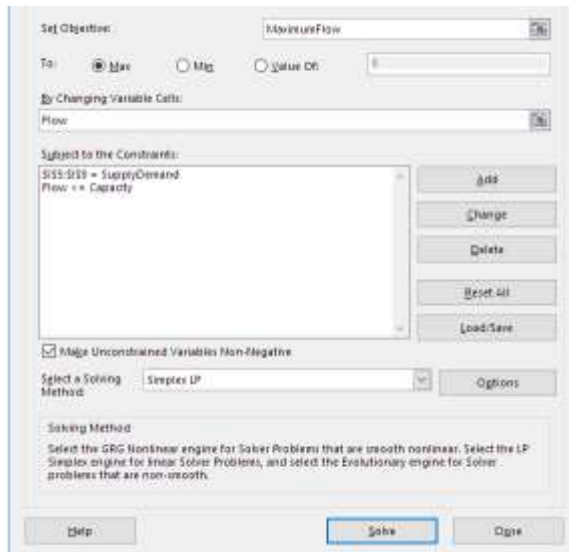
Para encontrar la solución óptima, ejecute los siguientes pasos.

1. En la pestaña Datos, en el grupo Analizar, haga clic en Solucionador.



Nota: ¿No encuentra el botón Solver? Haga clic aquí para cargar el complemento Solver.

Introduzca los parámetros del solucionador (siga leyendo). El resultado debería ser similar al de la imagen siguiente.



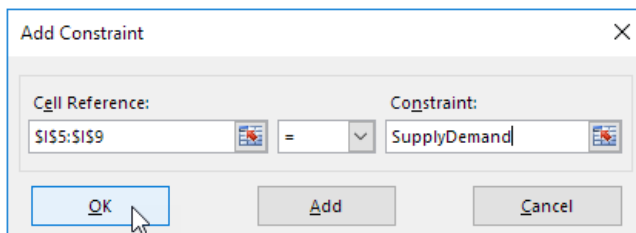
Tiene la opción de escribir los nombres de los rangos o hacer clic en las celdas de la hoja de cálculo.

2. Ingrese MaximumFlow para el objetivo.

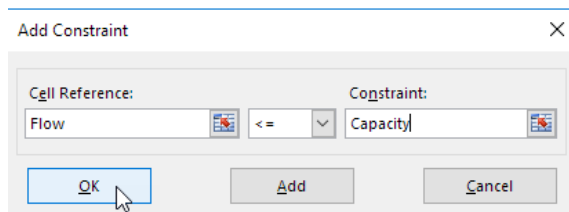
3. Haga clic en Máx.

4. Ingrese flujo para las celdas de variables cambiantes.

5. Haga clic en Agregar para ingresar la siguiente restricción.



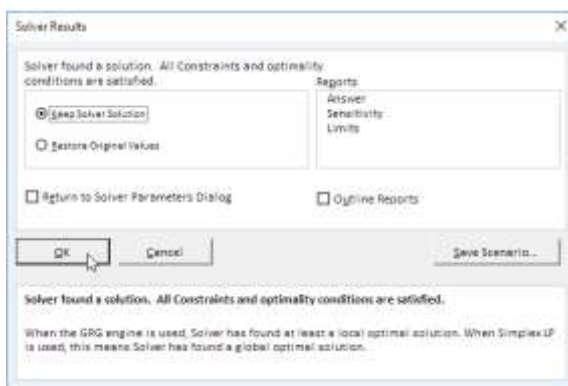
6. Haga clic en Agregar para ingresar la siguiente restricción.



7. Marque la opción 'Hacer que las variables sin restricciones sean no negativas' y seleccione 'LP simple'.

8. Por último, haga clic en Resolver.

Resultado:



La solución óptima:

	From	To	Flow	Capacity	Nodes	Net Flow	Supply/Demand
3	S	A	4	4	S	12	
4	S	B	2	2	A	0	0
5	S	C	6	8	B	0	0
6	A	C	2	5	C	0	0
7	A	D	2	2	D	0	0
8	B	C	6	6	E	0	0
9	B	E	2	9	T	-12	
10	C	D	1	1			
11	C	E	3	3			
12	C	T	4	4			
13	D	T	3	7			
14	E	T	5	5			
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
56							
57							
58							
59							
60							
61							
62							
63							
64							
65							
66							
67							
68							
69							
70							
71							
72							
73							
74							
75							
76							
77							
78							
79							
80							
81							
82							
83							
84							
85							
86							
87							
88							
89							
90							
91							
92							
93							
94							
95							
96							
97							
98							
99							
100							

Conclusión: el camino SADT con un caudal de 2. El camino SCT con un caudal de 4. El camino SBET con un caudal de 2. El camino SCET con un caudal de 2. El camino SACET con un caudal de 1. El camino SACDT con un caudal de 1. Estos caminos dan un caudal máximo de 12.

## EJERCICIO 6

### Inversión de capital en Excel

Utilice el solucionador de Excel para encontrar la combinación de inversiones de capital que maximiza la ganancia total.

Formular el modelo

El modelo que vamos a resolver se ve así en Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		Capital Investment												
2														
3		Investment	One	Two	Three	Four	Five	Six	Seven					
4														
5		Profit	42	47	21	36	18	33	45					
6														
7		Capital	12	10	15	7	14	18	16	0	≤	50		
8		One or Two	1	1	0	0	0	0	0	0	≤	1		
9		Three or Four	0	0	1	1	0	0	0	0	≤	1		
10		Only Six, Seven, If Five	0	0	0	0	-2	1	1	0	≤	0		
11														
12												Total Profit		
13		Yes/No	0	0	0	0	0	0	0			0		
14														

1. Para formular este modelo de programación binaria entera (BIP), responda las siguientes tres preguntas.

a. ¿Qué decisiones se deben tomar? Para este problema, necesitamos Excel para determinar qué inversiones de capital realizar (Sí = 1, No = 0).

b. ¿Cuáles son las limitaciones de estas decisiones? En primer lugar, la cantidad de capital utilizada en las inversiones no puede exceder el capital disponible (50). Por ejemplo, la inversión uno utiliza 12 unidades de capital. En segundo lugar, solo se pueden realizar la inversión uno o la inversión dos. En tercer lugar, solo se pueden realizar la inversión tres o la inversión cuatro. En cuarto lugar, las inversiones seis y siete solo se pueden realizar si se realiza la inversión cinco.

c. ¿Cuál es la medida general del rendimiento de estas decisiones? La medida general del rendimiento es la ganancia total de las inversiones de capital realizadas, por lo que el objetivo es maximizar esta cantidad.

2. Para que el modelo sea más fácil de entender, cree los siguientes rangos con nombre.

Nombre del rango	Células
Ganancia	C5:I5
SíNo	C13:I13
Beneficio total	M13

3. Inserte las siguientes cinco funciones SUMPRODUCTO.

F	G	H	I	J	K	L	M	N
Four	Five	Six	Seven					
36	18	33	45					
7	14	18	16		=SUMPRODUCT(C7:I7,YesNo)	≤	50	
0	0	0	0		=SUMPRODUCT(C8:I8,YesNo)	≤	1	
1	0	0	0		=SUMPRODUCT(C9:I9,YesNo)	≤	1	
0	-2	1	1		=SUMPRODUCT(C10:I10,YesNo)	≤	0	
0	0	0	0				Total Profit	
							=SUMPRODUCT(Profit,YesNo)	

Explicación: la celda K7 (la cantidad de capital utilizado) es igual a la suma del producto del rango C7:I7 y YesNo, la celda K8 es igual a la suma del producto del rango C8:I8 y YesNo, etc. La ganancia total es igual a la suma del producto de la ganancia y YesNo.

## Prueba y error

Con esta formulación resulta fácil analizar cualquier solución de prueba.

1. Por ejemplo, si realizamos la inversión Uno y Dos, se viola la segunda restricción.

[illegible]

2. Por ejemplo, si realizamos la inversión Seis y Siete, sin realizar la inversión Cinco, se viola la cuarta restricción.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		Capital Investment												
2														
3		Investment	One	Two	Three	Four	Five	Six	Seven					
4														
5		Profit	42	47	21	36	18	33	45					
6														
7		Capital	12	10	15	7	14	18	16		34	≤	50	
8		One or Two	1	1	0	0	0	0	0		0	≤	1	
9		Three or Four	0	0	1	1	0	0	0		0	≤	1	
10		Only Six, Seven, If Five	0	0	0	0	-2	1	1		2	≤	0	X
11														
12													Total Profit	
13		Yes/No	0	0	0	0	0	1	1				78	
14														

3. Sin embargo, se pueden realizar las inversiones Uno, Cinco y Seis. Se cumplen todas las restricciones.

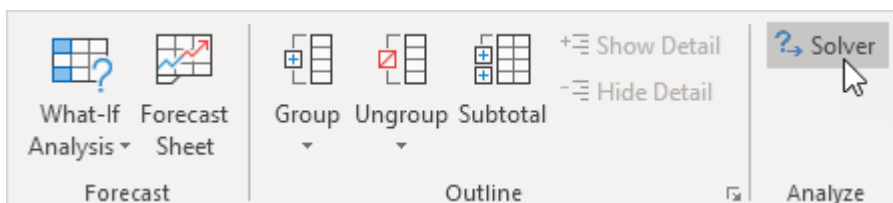
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		Capital Investment												
2														
3		Investment	One	Two	Three	Four	Five	Six	Seven					
4														
5		Profit	42	47	21	36	18	33	45					
6														
7		Capital	12	10	15	7	14	18	16		44	≤	50	
8		One or Two	1	1	0	0	0	0	0		1	≤	1	
9		Three or Four	0	0	1	1	0	0	0		0	≤	1	
10		Only Six, Seven, If Five	0	0	0	0	-2	1	1		-1	≤	0	
11														
12													Total Profit	
13		Yes/No	1	0	0	0	1	1	0				93	
14														

No es necesario usar el método de prueba y error. A continuación, describiremos cómo usar Excel Solver para encontrar rápidamente la solución óptima.

Resolver el modelo

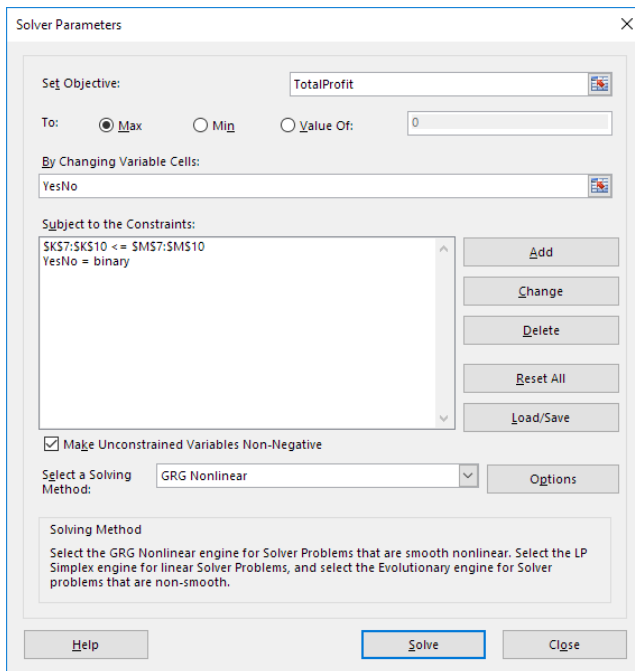
Para encontrar la solución óptima, ejecute los siguientes pasos.

1. En la pestaña Datos, en el grupo Analizar, haga clic en Solucionador.



Nota: ¿No encuentra el botón Solver? Haga clic aquí para cargar el complemento Solver.

Introduzca los parámetros del solucionador (siga leyendo). El resultado debería ser similar al de la imagen siguiente.

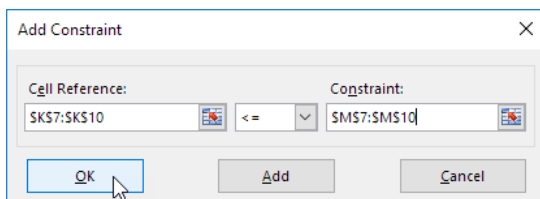


2. Ingrese TotalProfit para el objetivo.

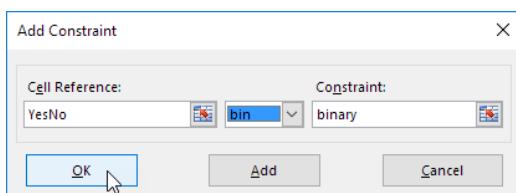
3. Haga clic en Máx.

4. Ingrese SíNo para las celdas de variable cambiante.

5. Haga clic en Agregar para ingresar la siguiente restricción.



6. Haga clic en Agregar para ingresar la siguiente restricción.

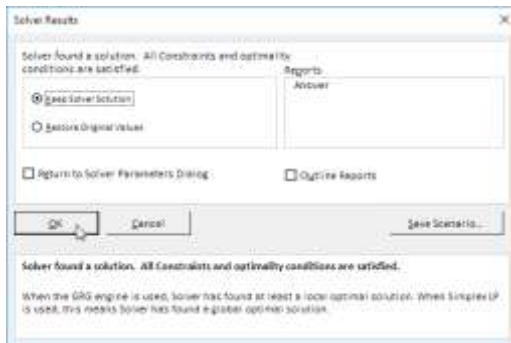


Nota: las variables binarias son 0 o 1.

7. Marque la opción 'Hacer que las variables sin restricciones sean no negativas' y seleccione 'LP simple'.

8. Por último, haga clic en Resolver.

Resultado:



La solución óptima:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		Capital Investment												
2														
3		Investment	One	Two	Three	Four	Five	Six	Seven					
4														
5		Profit	42	47	21	36	18	33	45					
6														
7		Capital	12	10	15	7	14	18	16		47	≤	50	
8		One or Two	1	1	0	0	0	0	0		1	≤	1	
9		Three or Four	0	0	1	1	0	0	0		1	≤	1	
10		Only Six, Seven, If Five	0	0	0	0	-2	1	1		-1	≤	0	
11														
12													Total Profit	
13		Yes/No	0	1	0	1	1	0	1				146	
14														

Conclusión: Lo óptimo son las inversiones Dos, Cuatro, Cinco y Siete. Esta solución ofrece una ganancia máxima de 146. Se cumplen todas las restricciones.

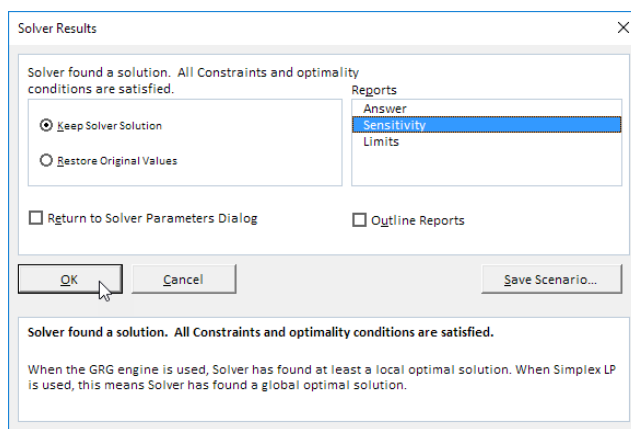


## EJERCICIO 7

## Análisis de sensibilidad en Excel

El análisis de sensibilidad permite comprender cómo cambia la solución óptima al modificar los coeficientes del modelo. Una vez que el solucionador encuentra una solución, se puede crear un informe de sensibilidad.

1. Antes de hacer clic en Aceptar, seleccione Sensibilidad en la sección Informes.



A continuación, puede encontrar la solución óptima y el informe de sensibilidad.

[illegible]

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Microsoft Excel 16.0 Sensitivity Report							
2	Worksheet: [sensitivity-analysis.xlsx]Sheet1							
3	Report Created: 1/24/2020 10:34:47 AM							
4								
5								
6	Variable Cells							
7								
8	<u>Cell</u>	<u>Name</u>	<u>Final Value</u>	<u>Reduced Cost</u>	<u>Objective Coefficient</u>	<u>Allowable Increase</u>	<u>Allowable Decrease</u>	
9	\$C\$12	Order Size Bicycles	94	0	100	50	12.5	
10	\$D\$12	Order Size Mopeds	54	0	300	66.66666667	100	
11	\$E\$12	Order Size Child Seats	0	-20	50	20	1E+30	
12								
13	Constraints							
14								
15	<u>Cell</u>	<u>Name</u>	<u>Final Value</u>	<u>Shadow Price</u>	<u>Constraint R.H. Side</u>	<u>Allowable Increase</u>	<u>Allowable Decrease</u>	
16	\$G\$7	Capital Used	93000	0.166666667	93000	28200	32400	
17	\$G\$8	Storage Used	101	100	101	54	23.5	
18								

[illegible]

Conclusión: sólo es rentable pedir sillas infantiles si puedes venderlas al menos por 70 unidades.

Precio sombra

Los precios sombra nos indican cuánto se puede aumentar o disminuir la solución óptima si cambiamos los valores del lado derecho (recursos disponibles) en una unidad.

1. Con 101 unidades de almacenamiento disponibles, el beneficio total es de 25600. A continuación, puede encontrar la solución óptima.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Cycle Trader									
2										
3			Bicycles	Mopeds	Child Seats					
4		Unit Profit	100	300	50					
5							Resources	Resources		
6							Used	Available		
7		Capital	300	1200	120		93000	≤	93000	
8		Storage	0.5	1	0.5		101	≤	101	
9										
10										
11			Bicycles	Mopeds	Child Seats				Total Profit	
12		Order Size	94	54	0				25600	
13										

2. Con 102 unidades de almacenamiento disponibles, la ganancia total es 25700 (+100).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Cycle Trader									
2										
3			Bicycles	Mopeds	Child Seats					
4		Unit Profit	100	300	50					
5							Resources	Resources		
6							Used	Available		
7		Capital	300	1200	120		93000	≤	93000	
8		Storage	0.5	1	0.5		102	≤	102	
9										
10										
11			Bicycles	Mopeds	Child Seats				Total Profit	
12		Order Size	98	53	0				25700	
13										

Nota: Con un precio sombra de 100 para este recurso, esto se ajusta a nuestras expectativas. Este precio sombra solo es válido entre 101 - 23,5 y 101 + 54 (véase el informe de sensibilidad).



Nota: La barra de fórmulas indica que las celdas contienen una fórmula matricial. Por lo tanto, no se puede eliminar un solo resultado. Para eliminar los resultados, seleccione el rango B6:D8 y pulse Supr.

2. Use la función MMULT para obtener el producto de las matrices  $A^{-1}$  y B. Primero, seleccione el rango G6:G8. A continuación, inserte la función MMULT que se muestra a continuación. Para finalizar, presione CTRL + MAYÚS + INTRO.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		5	1	8			46			
3	A	4	-2	0		B	12			
4		6	7	4			50			
5										
6		-0.0303	0.197	0.0608			4			
7	$A^{-1}$	-0.0608	-0.1061	0.1212		X	2			
8		0.1513	-0.1098	-0.053			3			
9										

3. Reúne todo. Primero, selecciona el rango G6:G8. A continuación, inserta la fórmula que se muestra a continuación. Para finalizar, pulsa CTRL + MAYÚS + INTRO.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		5	1	8			46			
3	A	4	-2	0		B	12			
4		6	7	4			50			
5										
6							4			
7						X	2			
8							3			
9										

4. Si tiene Excel 365 o Excel 2021, simplemente seleccione la celda G6, introduzca la misma fórmula que la anterior y pulse Intro.  
¡Olvídese de las llaves!

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		5	1	8			46			
3	A	4	-2	0		B	12			
4		6	7	4			50			
5										
6							4			
7						X	2			
8							3			
9										

Nota: Esta fórmula de matriz dinámica, introducida en la celda G6, llena varias celdas. ¡Increíble! Este comportamiento en Excel 365/2021 se llama desbordamiento.