

Optimización de constantes utilizando programación no lineal

Guía paso a paso

DN0105 – Métodos Cuantitativos I

MBA. Daniela Figueroa Volio

Introducción

Objetivo: En esta guía se detallan los pasos a seguir para aplicar la programación no lineal para optimizar las constantes alfa (α), beta (β) y gama (γ) en pronósticos de suavización exponencial al minimizar el error de medio cuadrático.

Contenido: Se desarrollarán tres escenarios, uno para cada tipo de suavización exponencial: simple, doble (método de Holt) y triple (método de Winters).

Requisitos: Como requisito para la aplicación de esta guía paso a paso, se debe saber resolver problemas de programación no lineal en Solver de Excel, así como realizar pronósticos de suavización exponencial simple, doble y triple.

Consideraciones técnicas

Para efectuar el procedimiento de cada escenario, se utilizará una variación a las plantillas de Excel de programación no lineal utilizadas en la cátedra de DN-0105. Las particularidades de esta variación en la plantilla se detallan en la Figura 1:

Figura 1. Ejemplo de plantilla de programación no lineal para la optimización de constantes

| | | | | | | | | |
|-----------------|----------|---------|----------|-----------|----------|--------|---------|---|
| | α | β | γ | | | | | |
| Variables | X1 | X2 | X3 | | | | | La definición de las variables son los valores de α , β y γ |
| Solución | | | | | | | | La solución corresponde a los valores de α , β y γ que minimizan el EMC |
| FO | - | | | | | | | La función objetivo corresponde al cálculo de EMC del pronóstico |
| Restricciones | | | | Utilizado | Relación | Límite | Holgura | |
| $\alpha \leq 1$ | 1 | 0 | 0 | 0 | \leq | 1 | 1 | |
| $\beta \leq 1$ | 0 | 1 | 0 | 0 | \leq | 1 | 1 | |
| $\gamma \leq 1$ | 0 | 0 | 1 | 0 | \leq | 1 | 1 | |

Las únicas restricciones se utilizan para definir el límite superior de las constantes

Las constantes deben ser menor o igual que 1

Fuente: Elaboración propia

La versión de la plantilla mostrada en la Figura 1, corresponde a un escenario 3, para la suavización exponencial triple (método de Winters). Para suavización exponencial simple y doble, se debe ajustar la plantilla, eliminando las constantes que no están presentes en el método de pronóstico respectivo.

Se utilizará el error medio cuadrático (EMC) como medida de error de pronóstico en esta guía, sin embargo, cabe resaltar que se puede utilizar cualquier medida de error de pronóstico en este procedimiento. El error medio cuadrático se calcula como el promedio de las diferencias entre la serie de tiempo histórica y el pronóstico calculado para cada periodo, siendo este último calculado a través de las fórmulas en el Cuadro 1:

Cuadro 1. Fórmulas para la suavización exponencial simple, doble y triple

| Suavización Exponencial | Fórmula(s) de pronóstico |
|-------------------------|---|
| Simple | $\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1-\alpha)\hat{Y}_t$ |
| Doble | $A_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$ $\hat{Y}_{t+p} = A_t + pT_t$ |
| Triple | $A_t = \alpha(Y_t/S_{t-L}) + (1-\alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$ $S_t = \gamma(Y_t/A_t) + (1-\gamma)(S_{t-L})$ $\hat{Y}_{t+p} = (A_t + pT_t) S_{t-L+p}$ |

| Símbolo | Significado |
|-----------|------------------------------|
| \hat{Y} | Pronóstico |
| Y | Dato de la serie de tiempo |
| A | Valor atenuado |
| T | Estimación de tendencia |
| S | Estimación de estacionalidad |
| t | Periodo |
| p | Periodo a futuro |
| L | Longitud de estacionalidad |

Fuente: Elaboración propia

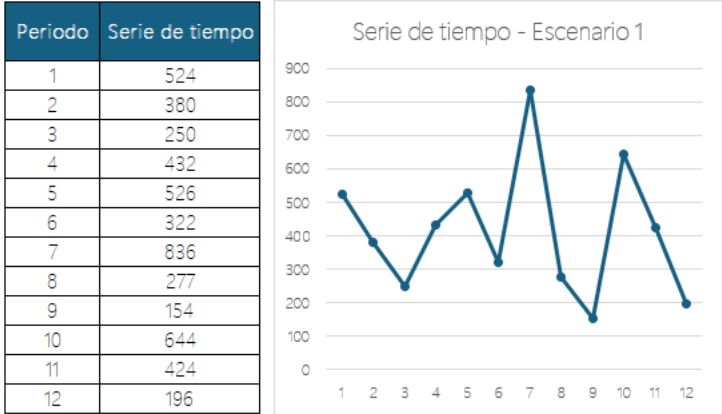
Por esta razón, al buscar minimizar el valor obtenido con la fórmula del EMC (o cualquier otra medida de error de pronóstico), y siendo esta una fórmula no lineal, se debe utilizar programación no lineal como método de resolución.

Recuerde que en la fórmula de EMC no debe incluir el primer periodo, ya que, por procedimiento, el valor de pronóstico del primer periodo se iguala al valor de la serie histórica del mismo periodo. Además, no es necesario aplicar los cálculos de pronóstico para periodos futuros, únicamente los periodos incluidos en la serie de tiempo.

Escenario 1: Suavización exponencial simple

Se utilizará la serie de tiempo en la Figura 2, que carece de tendencia y estacionalidad, y solo presenta aleatoriedad, por lo tanto, corresponde utilizar suavización exponencial simple.

Figura 2. Datos base - Escenario 1



Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 2, se detalla el paso a paso para identificar la constante α que minimiza el error medio cuadrático.

Cuadro 2. Paso a paso para Escenario 1 - Suavización exponencial simple

| Paso | Imagen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|------------------------|---------|--|---------|-----------------|---|------------------------|----------|-----|-------|--|---------------|-----------|----------|--------|---------|-----------------|---|--------|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|---|-----|--|--|----|-----|--|--|----|-----|--|--|----|-----|--|--|
| <p>1. Ajuste su plantilla para mostrar únicamente la constante α.</p> | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%; text-align: center;">α</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #0056b3; color: white;">Variables</td> <td style="text-align: center;">X1</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #0056b3; color: white;">Solución</td> <td style="background-color: #fff9c4;"></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #0056b3; color: white;">FO</td> <td style="background-color: #fff9c4;"></td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #0056b3; color: white;">Restricciones</th> <th style="background-color: #0056b3; color: white;">Utilizado</th> <th style="background-color: #0056b3; color: white;">Relación</th> <th style="background-color: #0056b3; color: white;">Límite</th> <th style="background-color: #0056b3; color: white;">Holgura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">$\alpha \leq 1$</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">\leq</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | α | Variables | X1 | Solución | | FO | | Restricciones | Utilizado | Relación | Límite | Holgura | $\alpha \leq 1$ | 1 | \leq | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | α | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Variables | X1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Solución | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Restricciones | Utilizado | Relación | Límite | Holgura | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\alpha \leq 1$ | 1 | \leq | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>2. Prepare su tabla para cálculo de pronóstico, para efectuar el procedimiento de suavización exponencial simple. Recuerde que, por procedimiento, el valor de pronóstico del primer periodo se iguala al valor de la serie histórica del mismo periodo.</p> | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #0056b3; color: white;">Período</th> <th style="background-color: #0056b3; color: white;">Serie de tiempo</th> <th style="background-color: #0056b3; color: white;">Pronóstico suavización exponencial simple</th> <th style="background-color: #0056b3; color: white;">Error medio cuadrático</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td style="text-align: center;">524</td><td style="text-align: center;">524.0</td><td style="background-color: #cccccc;"></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;">380</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td style="text-align: center;">250</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td style="text-align: center;">432</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td style="text-align: center;">526</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td style="text-align: center;">322</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7</td><td style="text-align: center;">836</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td style="text-align: center;">277</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">9</td><td style="text-align: center;">154</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">10</td><td style="text-align: center;">644</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">11</td><td style="text-align: center;">424</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">12</td><td style="text-align: center;">196</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> | | | | | Período | Serie de tiempo | Pronóstico suavización exponencial simple | Error medio cuadrático | 1 | 524 | 524.0 | | 2 | 380 | | | 3 | 250 | | | 4 | 432 | | | 5 | 526 | | | 6 | 322 | | | 7 | 836 | | | 8 | 277 | | | 9 | 154 | | | 10 | 644 | | | 11 | 424 | | | 12 | 196 | | |
| Período | Serie de tiempo | Pronóstico suavización exponencial simple | Error medio cuadrático | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 524 | 524.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 380 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 432 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 526 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 322 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 836 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 277 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 154 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 644 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 424 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 196 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

3. Aplique la fórmula de pronóstico para suavización exponencial simple en la columna correspondiente, referenciando la celda de solución de α cada vez que la fórmula lo requiera.

Como el valor de α se encuentra en 0 por el momento, los pronósticos de todos los periodos serán iguales al pronóstico del primer periodo, esto cambiará una vez que Solver encuentre el valor de α óptimo.

| Periodo | Serie de tiempo | Pronóstico suavización exponencial simple | Error medio cuadrático |
|---------|-----------------|---|------------------------|
| 1 | 524 | 524.0 | |
| 2 | 380 | = $\$K\$20 * K4 + (1 - \$K\$20) * L4$ | |
| 3 | 250 | 524.0 | |
| 4 | 432 | 524.0 | |
| 5 | 526 | 524.0 | |
| 6 | 322 | 524.0 | |
| 7 | 836 | 524.0 | |
| 8 | 277 | 524.0 | |
| 9 | 154 | 524.0 | |
| 10 | 644 | 524.0 | |
| 11 | 424 | 524.0 | |
| 12 | 196 | 524.0 | |

| | α |
|-----------|----------|
| Variables | X1 |
| Solución | |
| FO | |

| Restriciones | | Utilizado | Relación | Límite | Holgura |
|-----------------|---|-----------|----------|--------|---------|
| $\alpha \leq 1$ | 1 | 0 | \leq | 1 | 1 |

4. Complete la columna de EMC con la diferencia entre la serie de tiempo y el pronóstico calculado.

El valor al final de esta columna debe ser el promedio del EMC de cada periodo, sin incluir el primero.

| Periodo | Serie de tiempo | Pronóstico suavización exponencial simple | Error medio cuadrático |
|---------|-----------------|---|---------------------------|
| 1 | 524 | 524.0 | |
| 2 | 380 | 524.0 | = $\text{POWER}(K5-L5,2)$ |
| 3 | 250 | 524.0 | 75076.0 |
| 4 | 432 | 524.0 | 8464.0 |
| 5 | 526 | 524.0 | 4.0 |
| 6 | 322 | 524.0 | 40804.0 |
| 7 | 836 | 524.0 | 97344.0 |
| 8 | 277 | 524.0 | 61009.0 |
| 9 | 154 | 524.0 | 136900.0 |
| 10 | 644 | 524.0 | 14400.0 |
| 11 | 424 | 524.0 | 10000.0 |
| 12 | 196 | 524.0 | 107584.0 |
| | | | 52029.2 |

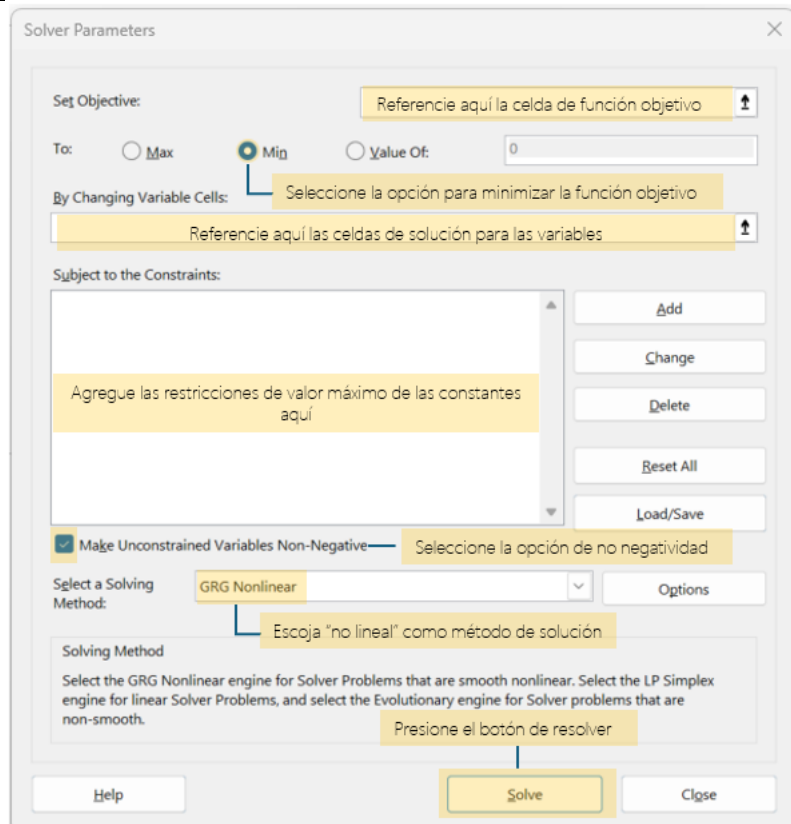
5. En la plantilla de programación no lineal, referencie la celda de función objetivo (FO) al EMC.

| Periodo | Serie de tiempo | Pronóstico suavización exponencial simple | Error medio cuadrático |
|---------|-----------------|---|------------------------|
| 1 | 524 | 524.0 | |
| 2 | 380 | 524.0 | 20736.0 |
| 3 | 250 | 524.0 | 75076.0 |
| 4 | 432 | 524.0 | 8464.0 |
| 5 | 526 | 524.0 | 4.0 |
| 6 | 322 | 524.0 | 40804.0 |
| 7 | 836 | 524.0 | 97344.0 |
| 8 | 277 | 524.0 | 61009.0 |
| 9 | 154 | 524.0 | 136900.0 |
| 10 | 644 | 524.0 | 14400.0 |
| 11 | 424 | 524.0 | 10000.0 |
| 12 | 196 | 524.0 | 107584.0 |
| | | | 52029.2 |

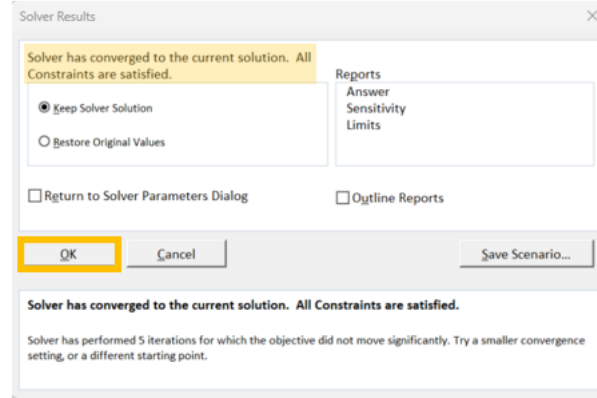
| | |
|-----------|----------|
| | α |
| Variables | X1 |
| Solución | |
| FO | =M16 |

| Restricciones | | Utilizado | Relación | Límite | Holgura |
|-----------------|---|-----------|----------|--------|---------|
| $\alpha \leq 1$ | 1 | 0 | \leq | 1 | 1 |

6. Abra Solver de Excel y llene el cuadro de diálogo según se indica en la imagen de este paso.



7. Presione "OK" en la ventana de diálogo emergente.
 Esta debe indicar que se ha encontrado una solución y que todas las restricciones se han satisfecho.



8. Verifique su celda de "Solución" debajo de la constante que está optimizando, este es el valor óptimo de su variable.
 Puede verificar el valor del EMC en la celda abajo (FO).

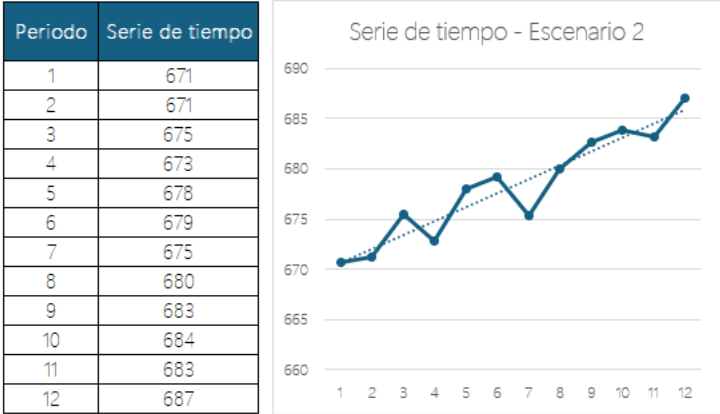
| | | | | | |
|-----------------|-------------|-------------|----------|--------|---------|
| | α | | | | |
| Variables | X1 | | | | |
| Solución | 0.102043644 | | | | |
| FO | 47,779.20 | | | | |
| Restricciones | | Utilizado | Relación | Límite | Holgura |
| $\alpha \leq 1$ | 1 | 0.102043644 | \leq | 1 | 0.89796 |

Fuente: Elaboración propia

Escenario 2: Suavización exponencial doble

Se utilizará la serie de tiempo en la Figura 3, que presenta tendencia, pero carece de estacionalidad, por lo tanto, corresponde utilizar suavización exponencial doble.

Figura 3. Datos base - Escenario 2



Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 3, se detalla el paso a paso para identificar la constante α que minimiza el error medio cuadrático.

Cuadro 3. Paso a paso para Escenario 2 - Suavización exponencial doble

| Paso | Imagen | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|----------|-------|--|------------------------|--------|---------|
| 1. Ajuste su plantilla para mostrar únicamente las constantes α y β . | | | α | | | β | | |
| | Variables | | X1 | | | X2 | | |
| | Solución | | | | | | | |
| | FO | | | | | | | |
| | Restricciones | | | | Utilizado | Relación | Límite | Holgura |
| | $\alpha \leq 1$ | | 1 | | 0 | \leq | 1 | 1 |
| | $\beta \leq 1$ | | 0 | | 1 | \leq | 1 | 1 |
| 2. Prepare su tabla para cálculo de pronóstico, para efectuar el procedimiento de suavización exponencial doble. Recuerde que, por procedimiento, el valor de pronóstico del primer periodo se iguala al valor de la serie histórica del mismo periodo, y el primer valor de tendencia es "0". | Período | Serie de tiempo | A_t | T_t | Pronóstico suavización exponencial doble | Error medio cuadrático | | |
| | 1 | 671 | | | | | | |
| | 2 | 671 | | | | | | |
| | 3 | 675 | | | | | | |
| | 4 | 673 | | | | | | |
| | 5 | 678 | | | | | | |
| | 6 | 679 | | | | | | |
| | 7 | 675 | | | | | | |
| | 8 | 680 | | | | | | |
| | 9 | 683 | | | | | | |
| | 10 | 684 | | | | | | |
| | 11 | 683 | | | | | | |
| 12 | 687 | | | | | | | |

3. Aplique las fórmulas de pronóstico para suavización exponencial doble en las columnas correspondientes, referenciando las celdas de solución de α y β cada vez que la fórmula lo requiera.

Como el valor de α se encuentra en 0 por el momento, los pronósticos de todos los periodos serán iguales al pronóstico del primer periodo, esto cambiará una vez que Solver encuentre los valores óptimos de las constantes.

| Periodo | Serie de tiempo | A_t | T_t | Pronóstico suavización exponencial doble | Error medio cuadrático |
|---------|-----------------|-----------------------------------|-------|--|------------------------|
| 1 | 671 | 671 | 0 | | |
| 2 | | =((K\$20*K5)+(1-\$K\$20)*(L4+M4)) | | 671 | |
| 3 | 675 | 671 | - | 671 | |
| 4 | 673 | 671 | - | 671 | |
| 5 | 678 | 671 | - | 671 | |
| 6 | 679 | 671 | - | 671 | |
| 7 | 675 | 671 | - | 671 | |
| 8 | 680 | 671 | - | 671 | |
| 9 | 683 | 671 | - | 671 | |
| 10 | 684 | 671 | - | 671 | |
| 11 | 683 | 671 | - | 671 | |
| 12 | 687 | 671 | - | 671 | |

| | α | β |
|-----------|----------|---------|
| Variables | X1 | X2 |
| Solución | | |
| FO | | |

| Periodo | Serie de tiempo | A_t | T_t | Pronóstico suavización exponencial doble | Error medio cuadrático |
|---------|-----------------|-------|-------------------------------------|--|------------------------|
| 1 | 671 | 671 | 0 | | |
| 2 | 671 | 671 | =(\$L\$20*(L5-L4))+((1-\$L\$20)*M4) | | |
| 3 | 675 | 671 | - | 671 | |
| 4 | 673 | 671 | - | 671 | |
| 5 | 678 | 671 | - | 671 | |
| 6 | 679 | 671 | - | 671 | |
| 7 | 675 | 671 | - | 671 | |
| 8 | 680 | 671 | - | 671 | |
| 9 | 683 | 671 | - | 671 | |
| 10 | 684 | 671 | - | 671 | |
| 11 | 683 | 671 | - | 671 | |
| 12 | 687 | 671 | - | 671 | |

| | α | β |
|-----------|----------|---------|
| Variables | X1 | X2 |
| Solución | | |
| FO | | |

4. Complete la columna de EMC con la diferencia entre la serie de tiempo y el pronóstico calculado.

El valor al final de esta columna debe ser el promedio del EMC de cada periodo, sin incluir el primero.

| Periodo | Serie de tiempo | A_t | T_t | Pronóstico suavización exponencial doble | Error medio cuadrático |
|---------|-----------------|-------|-------|--|------------------------|
| 1 | 671 | 671 | 0 | | |
| 2 | 671 | 671 | - | 671 | =POWER(K5-N5,2) |
| 3 | 675 | 671 | - | 671 | 23.3 |
| 4 | 673 | 671 | - | 671 | 4.8 |
| 5 | 678 | 671 | - | 671 | 54.3 |
| 6 | 679 | 671 | - | 671 | 73.4 |
| 7 | 675 | 671 | - | 671 | 22.6 |
| 8 | 680 | 671 | - | 671 | 86.7 |
| 9 | 683 | 671 | - | 671 | 145.4 |
| 10 | 684 | 671 | - | 671 | 175.6 |
| 11 | 683 | 671 | - | 671 | 157.5 |
| 12 | 687 | 671 | - | 671 | 268.3 |

92.0

5. En la plantilla de programación no lineal, referencie la celda de función objetivo (FO) al EMC.

| Periodo | Serie de tiempo | A_t | T_t | Pronóstico suavización exponencial doble | Error medio cuadrático |
|---------|-----------------|-------|-------|--|------------------------|
| 1 | 671 | 671 | 0 | | |
| 2 | 671 | 671 | - | 671 | 0.3 |
| 3 | 675 | 671 | - | 671 | 23.3 |
| 4 | 673 | 671 | - | 671 | 4.8 |
| 5 | 678 | 671 | - | 671 | 54.3 |
| 6 | 679 | 671 | - | 671 | 73.4 |
| 7 | 675 | 671 | - | 671 | 22.6 |
| 8 | 680 | 671 | - | 671 | 86.7 |
| 9 | 683 | 671 | - | 671 | 145.4 |
| 10 | 684 | 671 | - | 671 | 175.6 |
| 11 | 683 | 671 | - | 671 | 157.5 |
| 12 | 687 | 671 | - | 671 | 268.3 |
| | | | | | 92.0 |

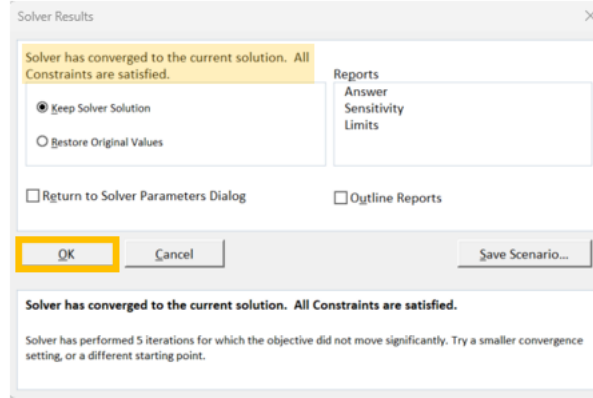
| | α | β |
|-----------|----------|---------|
| Variables | X1 | X2 |
| Solución | | |
| FO | =O16 | |

6. Abra Solver de Excel y llene el cuadro de diálogo según se indica en la imagen de este paso.

The image shows the Solver Parameters dialog box with the following settings and annotations:

- Set Objective:** Referencie aquí la celda de función objetivo
- To:** Max Min Value Of: 0
- By Changing Variable Cells:** Referencie aquí las celdas de solución para las variables
- Subject to the Constraints:** Agregue las restricciones de valor máximo de las constantes aquí
- Make Unconstrained Variables Non-Negative: Seleccione la opción de no negatividad
- Select a Solving Method:** GRG Nonlinear
- Solving Method:** Escoja "no lineal" como método de solución
- Presione el botón de resolver
- Buttons:** Help, Solve, Close

7. Presione "OK" en la ventana de diálogo emergente.
 Esta debe indicar que se ha encontrado una solución y que todas las restricciones se han satisfecho.



8. Verifique su celda de "Solución" debajo de la constante que está optimizando, este es el valor óptimo de sus variables.
 Puede verificar el valor del EMC en la celda abajo (FO).

| | α | β |
|-----------|-------------|-------------|
| Variables | X1 | X2 |
| Solución | 0.249859252 | 0.812746522 |
| FO | 6.26 | |

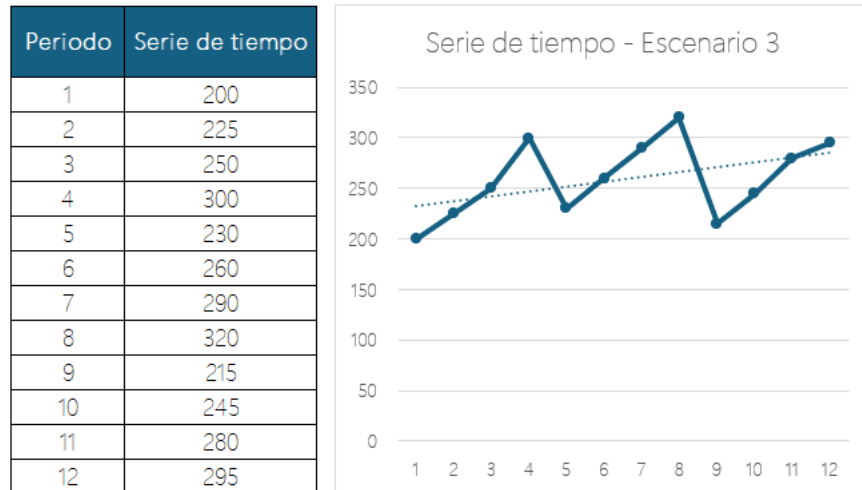
| Restricciones | | | Utilizado | Relación | Límite | Holgura |
|-----------------|---|---|-------------|----------|--------|---------|
| $\alpha \leq 1$ | 1 | 0 | 0.249859252 | \leq | 1 | 0.75014 |
| $\beta \leq 1$ | 0 | 1 | 0.812746522 | \leq | 1 | 0.18725 |

Fuente: Elaboración propia

Escenario 3: Suavización exponencial triple

Se utilizará la serie de tiempo en la Figura 4, que presenta tendencia y estacionalidad, por lo tanto, corresponde utilizar suavización exponencial triple. Recuerde que, en suavización exponencial triple, cada periodo corresponde a una estación, en este caso se trata de una serie de datos trimestral (4 periodos por año), ya que el mismo comportamiento se presenta cada 4 periodos.

Figura 4. Datos base - Escenario 3



Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 4, se detalla el paso a paso para identificar la constante α que minimiza el error medio cuadrático.

Cuadro 4. Paso a paso para Escenario 3 - Suavización exponencial triple

| Paso | Imagen | | | | | | |
|---|-----------------|---|---|----------|-----------|----------|--------|
| 1. Ajuste su plantilla para mostrar únicamente las constantes α , β y γ . | Variables | | | α | β | γ | |
| | Solución | | | X1 | X2 | X3 | |
| | FO | | | | | | |
| | Restricciones | | | | | | |
| | $\alpha \leq 1$ | 1 | 0 | 0 | Utilizado | Relación | Límite |
| $\beta \leq 1$ | 0 | 1 | 0 | 0 | \leq | 1 | 1 |
| $\gamma \leq 1$ | 0 | 0 | 1 | 0 | \leq | 1 | 1 |

2. Prepare su tabla para cálculo de pronóstico, para efectuar el procedimiento de suavización exponencial triple. Recuerde que, por procedimiento, el valor de pronóstico del primer periodo se iguala al valor de la serie histórica del mismo periodo, el primer valor de tendencia es "0", y la estacionalidad del periodo 1 y anteriores es "1".

| Periodo | Serie de tiempo | A _t | T _t | S _t | Pronóstico suavización exponencial triple | Error medio cuadrático |
|---------|-----------------|----------------|----------------|----------------|---|------------------------|
| -2 | | | | 1 | | |
| -1 | | | | 1 | | |
| 0 | | | | 1 | | |
| 1 | 200 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 2 | 225 | | | | | |
| 3 | 250 | | | | | |
| 4 | 300 | | | | | |
| 5 | 230 | | | | | |
| 6 | 260 | | | | | |
| 7 | 290 | | | | | |
| 8 | 320 | | | | | |
| 9 | 215 | | | | | |
| 10 | 245 | | | | | |
| 11 | 280 | | | | | |
| 12 | 295 | | | | | |

3. Aplique las fórmulas de pronóstico para suavización exponencial triple en las columnas correspondientes, referenciando las celdas de solución de α, β y γ cada vez que la fórmula lo requiera. Como el valor de α se encuentra en 0 por el momento, los pronósticos de todos los periodos serán iguales al pronóstico del primer periodo, esto cambiará una vez que Solver encuentre los valores óptimos de las constantes.

| Periodo | Serie de tiempo | A _t | T _t | S _t | Pronóstico suavización exponencial triple | Error medio cuadrático |
|---------|---|----------------|----------------|----------------|---|------------------------|
| -2 | | | | 1 | | |
| -1 | | | | 1 | | |
| 0 | | | | 1 | | |
| 1 | 200 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 2 | = \$K\$23*\$K\$8/N4+(1-\$K\$23)*(L7+M7) | | | 1.00 | | |
| 3 | 250 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 4 | 300 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 5 | 230 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 6 | 260 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 7 | 290 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 8 | 320 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 9 | 215 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 10 | 245 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 11 | 280 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 12 | 295 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |

| | α | β | γ |
|-----------|----|----|----|
| Variables | X1 | X2 | X3 |
| Solución | | | |
| FO | | | |

| Periodo | Serie de tiempo | A_t | T_t | S_t | Pronóstico suavización exponencial triple | Error medio cuadrático |
|---------|-----------------|------------------------------------|-------|-------|---|------------------------|
| -2 | | | | 1 | | |
| -1 | | | | 1 | | |
| 0 | | | | 1 | | |
| 1 | 200 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 2 | 225 | = $\$L\$23*(L8-L7)+(1-\$L\$23)*M7$ | | | | |
| 3 | 250 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 4 | 300 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 5 | 230 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 6 | 260 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 7 | 290 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 8 | 320 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 9 | 215 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 10 | 245 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 11 | 280 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 12 | 295 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |

| | α | β | γ |
|-----------|----------|---------|----------|
| Variables | X1 | X2 | X3 |
| Solución | | | |
| FO | | | |

| Periodo | Serie de tiempo | A_t | T_t | S_t | Pronóstico suavización exponencial triple | Error medio cuadrático |
|---------|-----------------|-------|------------------------------------|-------|---|------------------------|
| -2 | | | | 1 | | |
| -1 | | | | 1 | | |
| 0 | | | | 1 | | |
| 1 | 200 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 2 | 225 | 200 | = $\$M\$23*(K8/L8)+(1-\$M\$23)*N4$ | | | |
| 3 | 250 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 4 | 300 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 5 | 230 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 6 | 260 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 7 | 290 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 8 | 320 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 9 | 215 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 10 | 245 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 11 | 280 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 12 | 295 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |

| | α | β | γ |
|-----------|----------|---------|----------|
| Variables | X1 | X2 | X3 |
| Solución | | | |
| FO | | | |

4. Complete la columna de EMC con la diferencia entre la serie de tiempo y el pronóstico calculado. El valor al final de esta columna debe ser el promedio del EMC de cada periodo, sin incluir el primero.

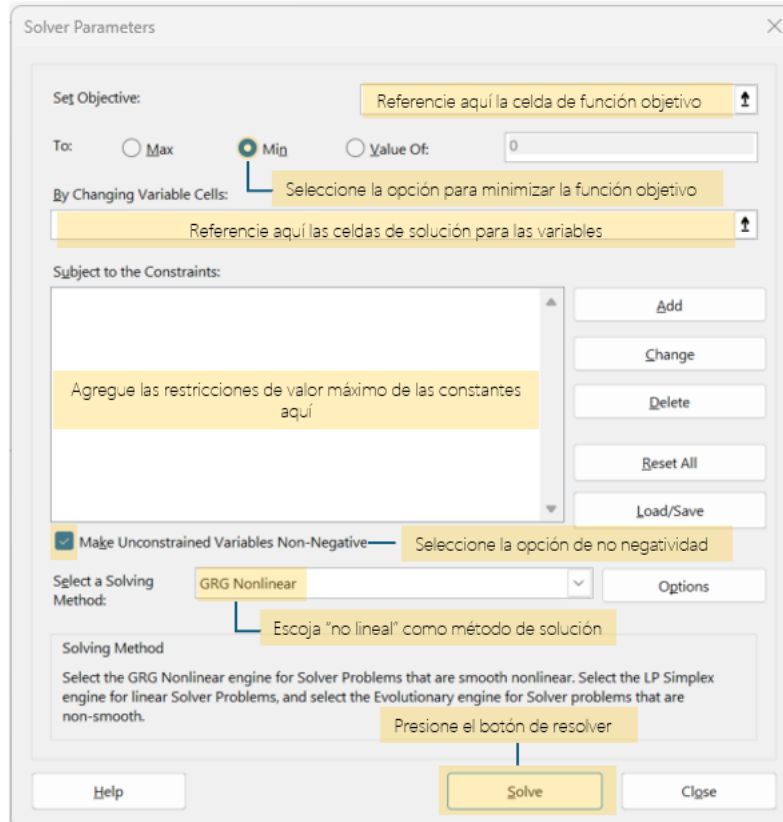
| Periodo | Serie de tiempo | A_t | T_t | S_t | Pronóstico suavización exponencial triple | Error medio cuadrático |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|---|------------------------|
| -2 | | | | 1 | | |
| -1 | | | | 1 | | |
| 0 | | | | 1 | | |
| 1 | 200 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 2 | 225 | 209 | 0.19 | 1.08 | 200 | =POWER(K8-O8,2) |
| 3 | 250 | 224 | 0.49 | 1.12 | 209 | 1662.2 |
| 4 | 300 | 252 | 1.06 | 1.19 | 224 | 5704.7 |
| 5 | 230 | 245 | 0.89 | 0.94 | 253 | 522.2 |
| 6 | 260 | 244 | 0.86 | 1.07 | 264 | 17.8 |
| 7 | 290 | 250 | 0.97 | 1.16 | 273 | 276.3 |
| 8 | 320 | 258 | 1.10 | 1.24 | 299 | 424.6 |
| 9 | 215 | 248 | 0.88 | 0.87 | 243 | 796.1 |
| 10 | 245 | 242 | 0.74 | 1.01 | 265 | 396.2 |
| 11 | 280 | 242 | 0.73 | 1.16 | 281 | 1.3 |
| 12 | 295 | 241 | 0.69 | 1.22 | 302 | 48.5 |
| | | | | | | 952.25 |

5. En la plantilla de programación no lineal, referencie la celda de función objetivo (FO) al EMC.

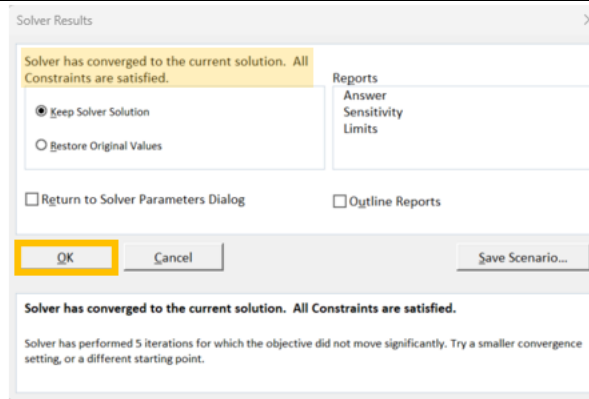
| Periodo | Serie de tiempo | A_t | T_t | S_t | Pronóstico suavización exponencial triple | Error medio cuadrático |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|---|------------------------|
| -2 | | | | 1 | | |
| -1 | | | | 1 | | |
| 0 | | | | 1 | | |
| 1 | 200 | 200 | 0.00 | 1.00 | | |
| 2 | 225 | 200 | 0.00 | 1.00 | 200 | 625.0 |
| 3 | 250 | 200 | 0.00 | 1.00 | 200 | 2500.0 |
| 4 | 300 | 200 | 0.00 | 1.00 | 200 | 10000.0 |
| 5 | 230 | 200 | 0.00 | 1.00 | 200 | 900.0 |
| 6 | 260 | 200 | 0.00 | 1.00 | 200 | 3600.0 |
| 7 | 290 | 200 | 0.00 | 1.00 | 200 | 8100.0 |
| 8 | 320 | 200 | 0.00 | 1.00 | 200 | 14400.0 |
| 9 | 215 | 200 | 0.00 | 1.00 | 200 | 225.0 |
| 10 | 245 | 200 | 0.00 | 1.00 | 200 | 2025.0 |
| 11 | 280 | 200 | 0.00 | 1.00 | 200 | 6400.0 |
| 12 | 295 | 200 | 0.00 | 1.00 | 200 | 9025.0 |
| | | | | | | 5,254.55 |

| | | | |
|-----------|----------|---------|----------|
| | α | β | γ |
| Variables | X1 | X2 | X3 |
| Solución | | | |
| FO | =P19 | | |

6. Abra Solver de Excel y llene el cuadro de diálogo según se indica en la imagen de este paso.



7. Presione "OK" en la ventana de diálogo emergente. Esta debe indicar que se ha encontrado una solución y que todas las restricciones se han satisfecho.



8. Verifique su celda de "Solución" debajo de la constante que está optimizando, este es el valor óptimo de sus variables. Puede verificar el valor del EMC en la celda abajo (FO).

| | α | β | γ | |
|-----------|----------|---------|----------|---|
| Variables | X1 | X2 | X3 | |
| Solución | 0.36 | 0.02 | 1.00 | ← |
| FO | 952.25 | | | |

| Restricciones | | Utilizado | Relación | Límite | Holgura |
|-----------------|---|-------------|----------|--------|---------|
| $\alpha \leq 1$ | 1 | 0.361692067 | \leq | 1 | 0.63831 |
| $\beta \leq 1$ | 0 | 0.02078618 | \leq | 1 | 0.97921 |
| $\gamma \leq 1$ | 0 | 1 | \leq | 1 | 0 |

Fuente: Elaboración propia