

Vamos a buscar los parámetros que mejor describen los datos experimentales proponiendo una función de la forma:

$$y = y_0 + A e^{-R_1 x} \cos(\omega x + R_2)$$

Necesitamos tener a mano los resultados que obtuvimos del ajuste de la envolvente. Yo había usado una función predefinida en Origin para ajustar los “picos”:

Analysis > **Fitting** > **Nonlinear Curve Fit**

Category: Exponential

Function: Exponential

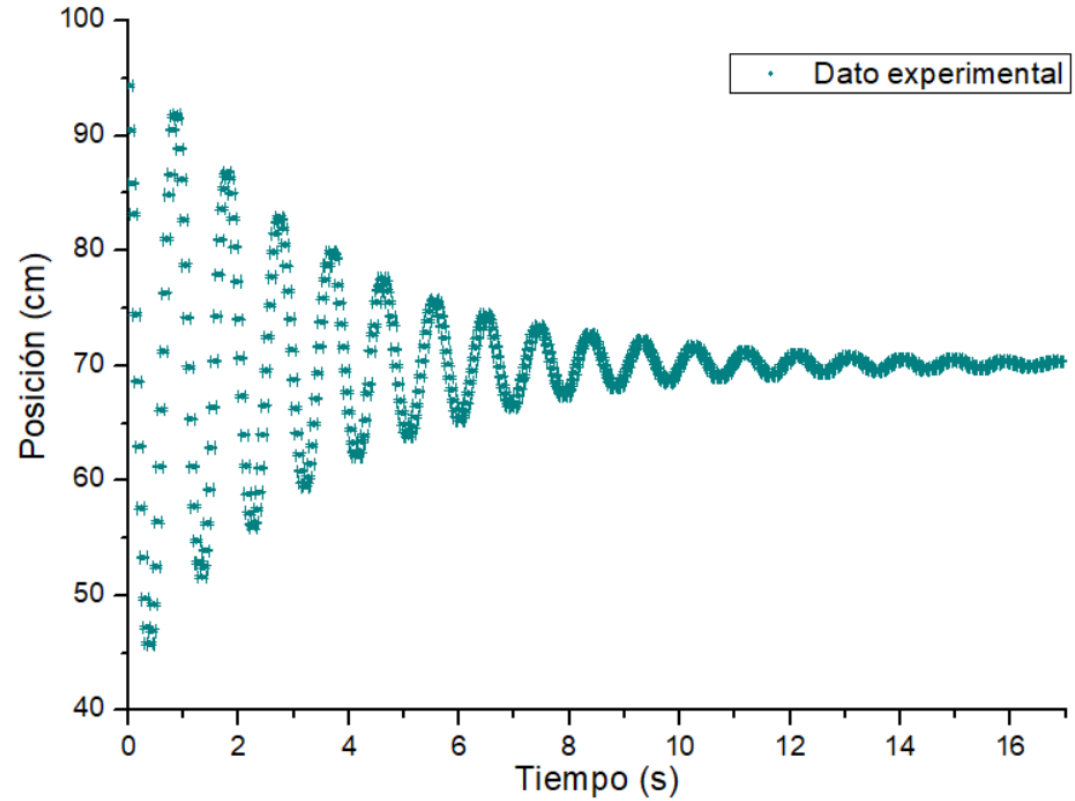
$$y = y_0 + A e^{R_0 x}$$

$$y_0 = (70,15 \pm 0,03) \text{ cm}$$

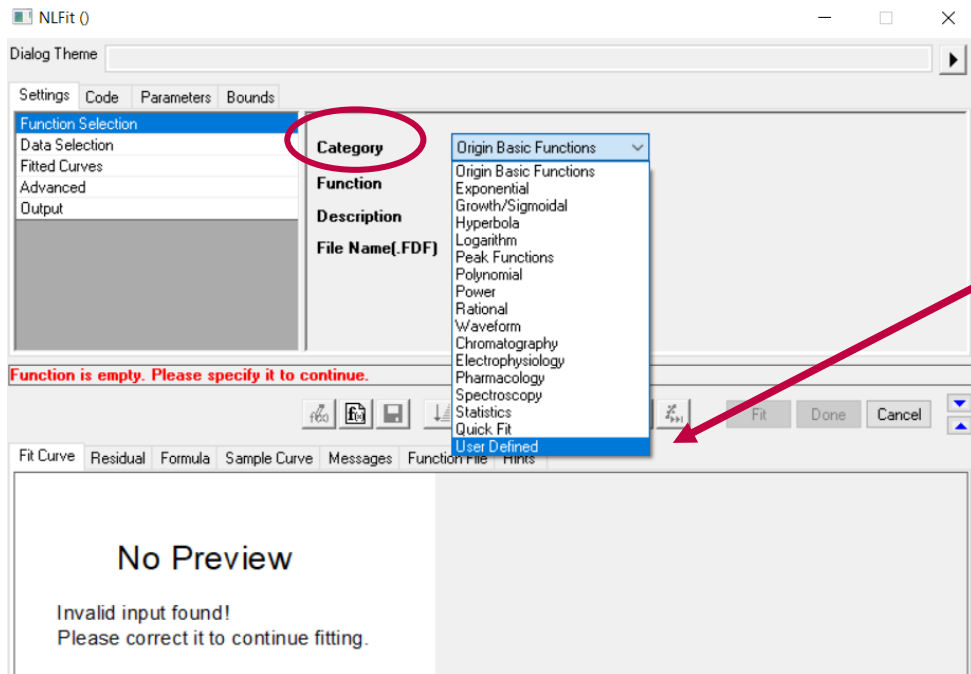
$$A = (27,89 \pm 0,09) \text{ cm}$$

$$R_0 = (-0,286 \pm 0,002) \text{ s}^{-1}$$

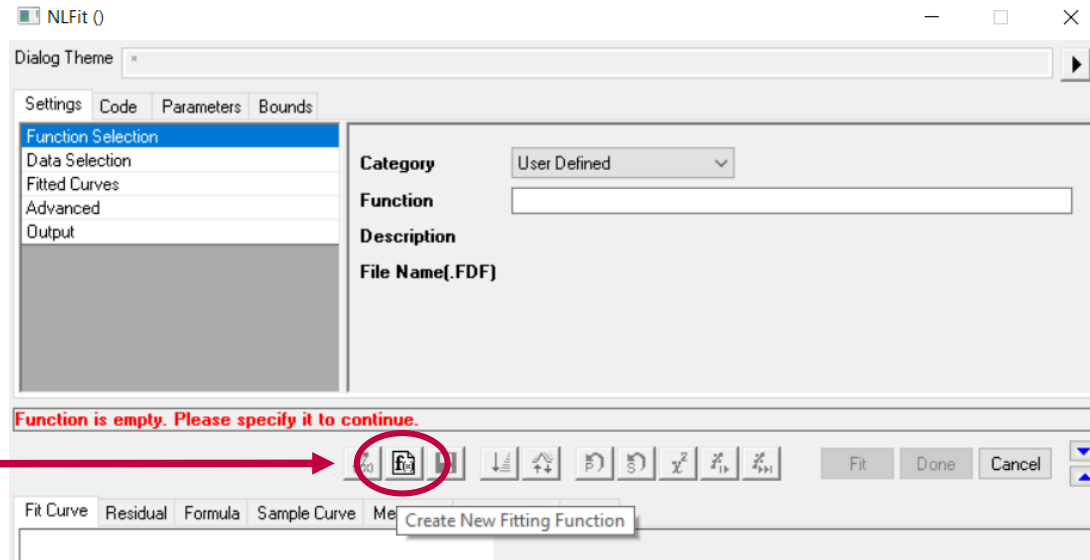
Y además estimar la frecuencia angular $\omega = \frac{2\pi}{T}$
 $\omega \approx 6,73$ en este ejemplo.



Ir a Analysis > Fitting > Nonlinear Curve Fit > Open Dialog

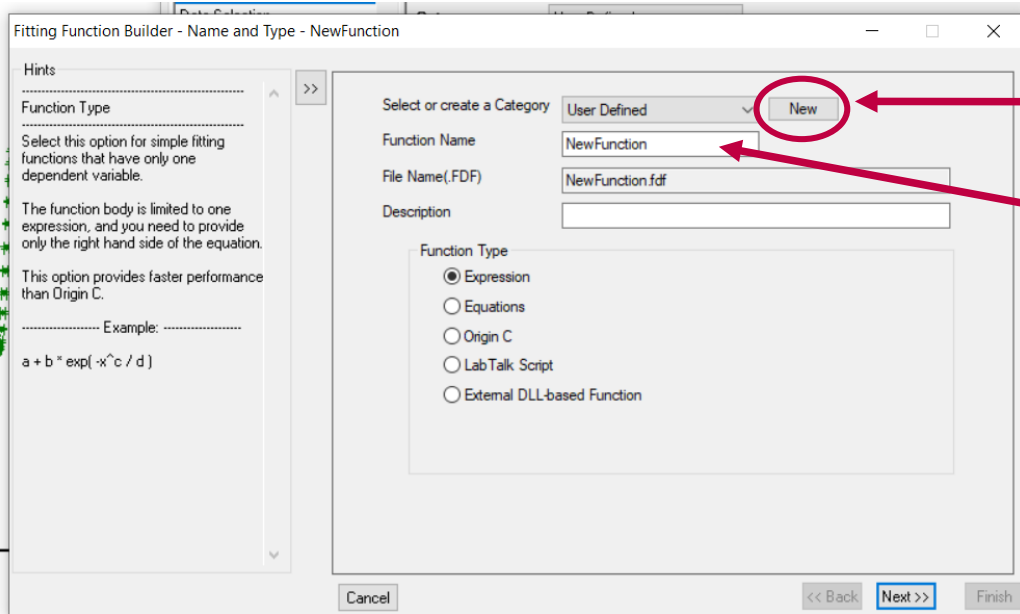


Ir a **Category** > **User Defined**



Hacer clic sobre este ícono para poder definir la función.

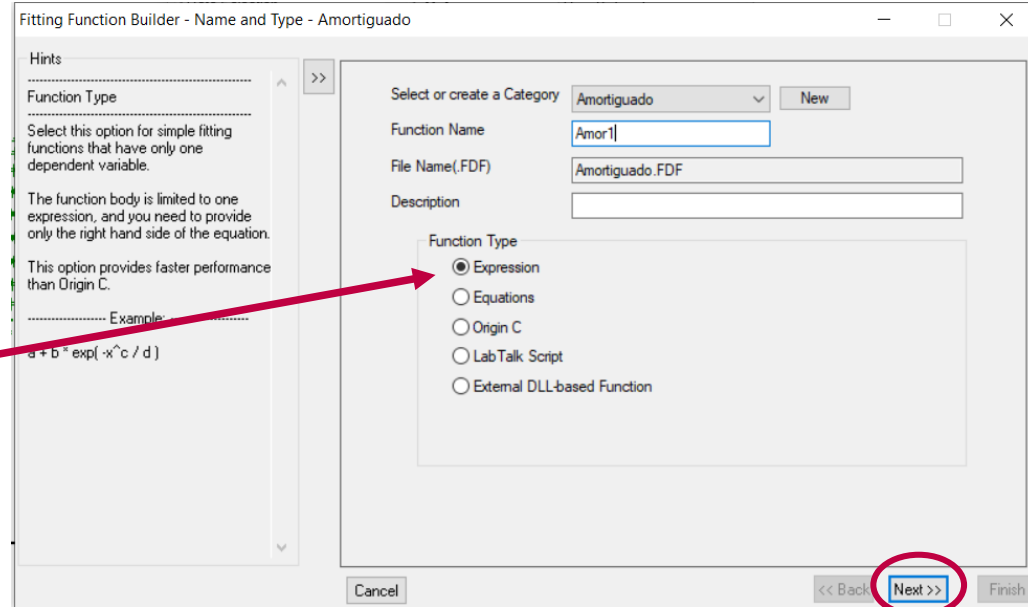
Se abre la siguiente ventana:



1- Apretar **New** para crear una nueva categoría. Yo lo llamé **Amortiguado**

2- Luego asignar un nombre a la función. Yo lo llamé **Amor1**.

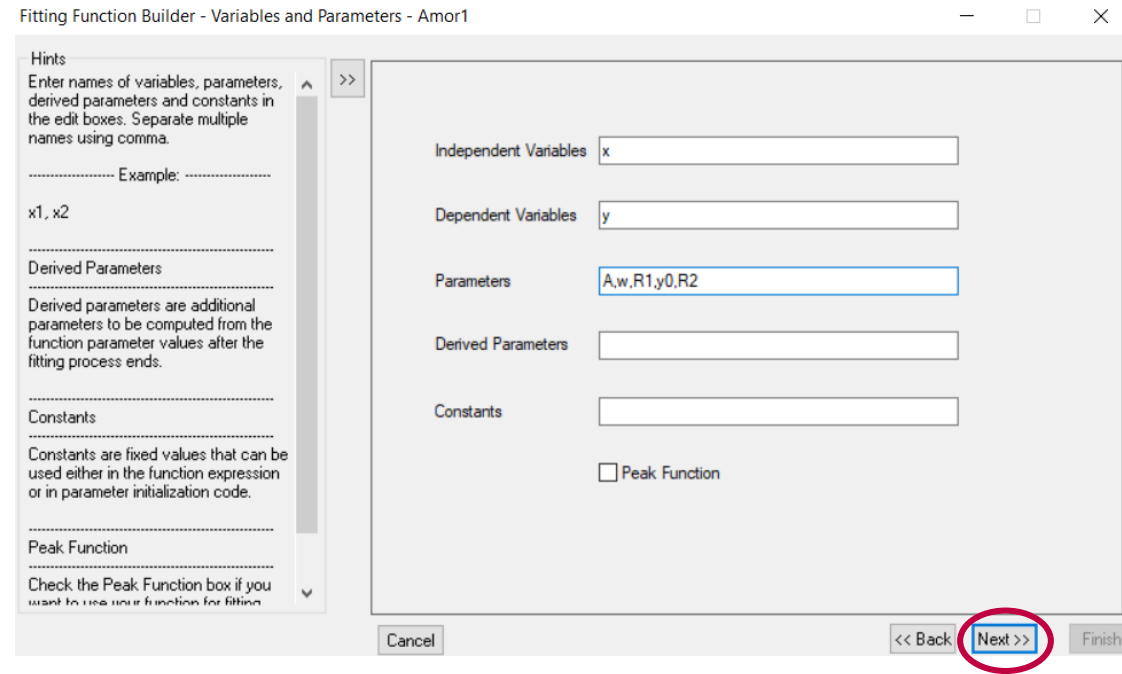
En **Function Type** verificar que esté seleccionada la opción **Expression**.



Aquí se muestra como queda luego de completar los pasos 1 y 2.

Al final apretar el botón **Next**.

Se abre la ventana:



Definir los nombres de las variables dependiente, independiente y de los parámetros.

Al final apretar el botón **Next**.

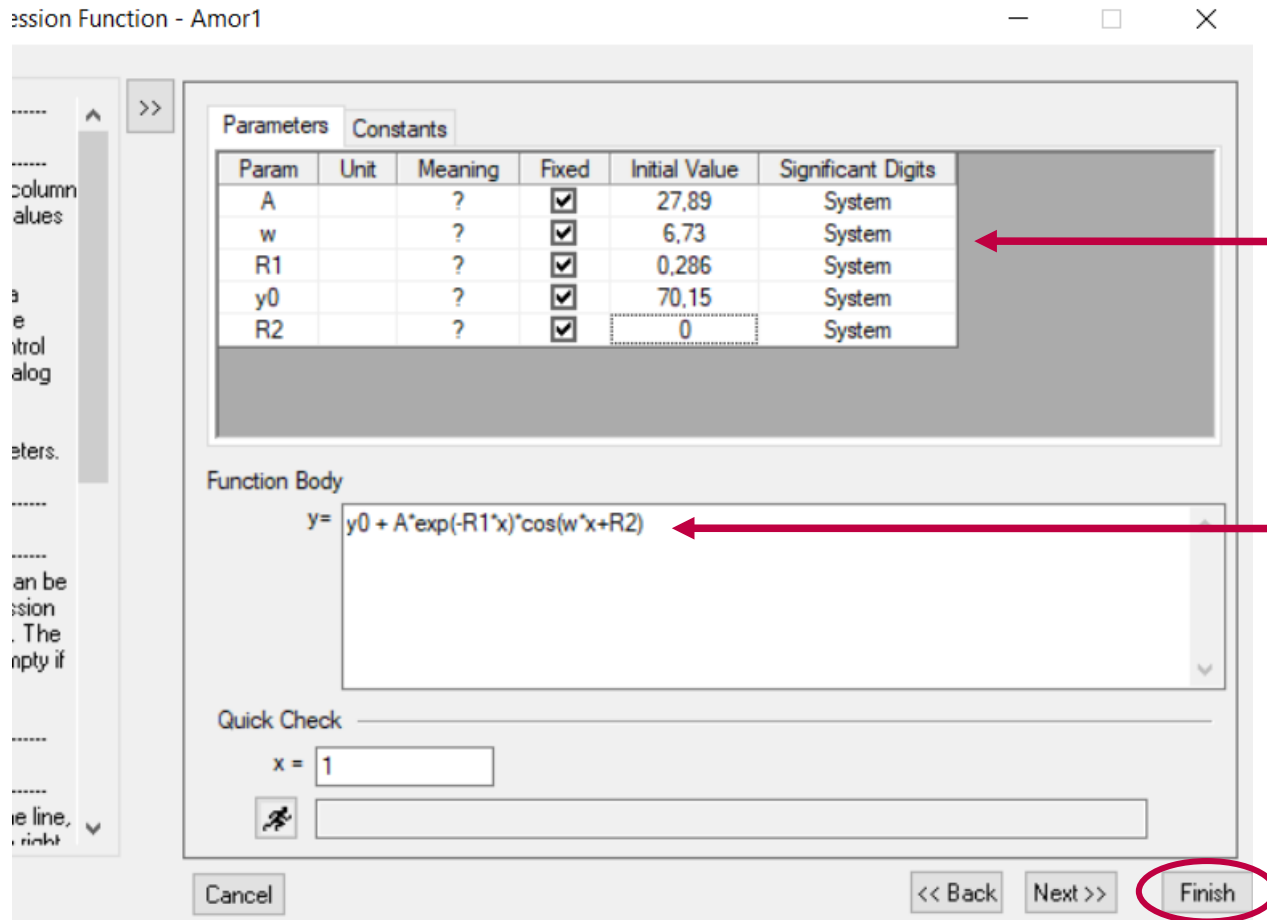
Tenemos que tener en claro cuál es la función que vamos a escribir. En este caso la función es:

$$y = y_0 + A e^{-R_1 x} \cos(w x + R_2)$$

↑ ↑ ↑ ↑ ↑
parámetros parámetros

y : variable dependiente
 x : variable independiente

Se abre la ventana:



Para poder realizar el ajuste es indispensable estimar los parámetros iniciales (que tienen que ser cercanos a los valores “reales”).

Ver diapositiva 1.

Notar que está marcada la opción **Fixed** en todos los parámetros.

Escribir la función. Aquí dice

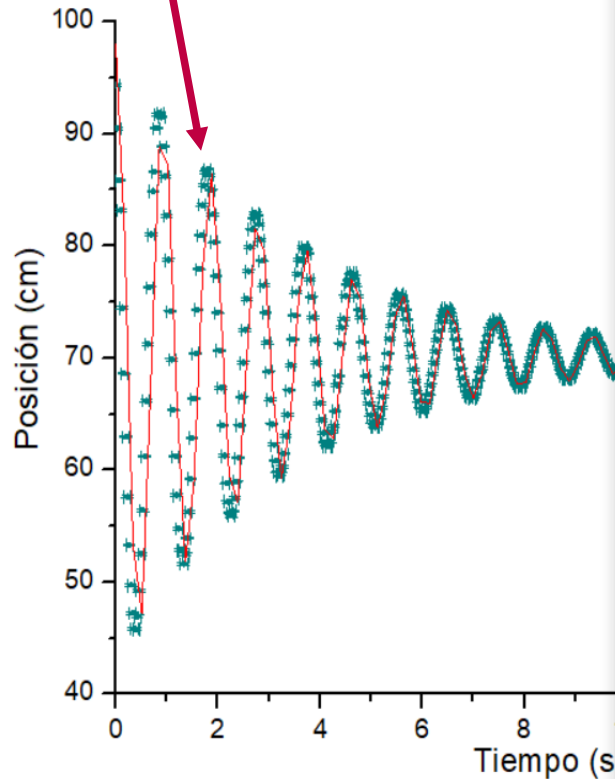
$$y_0 + A \cdot \exp(-R1 \cdot x) \cdot \cos(w \cdot x + R2)$$

No olvidar los paréntesis y signos de multiplicación, según corresponda.

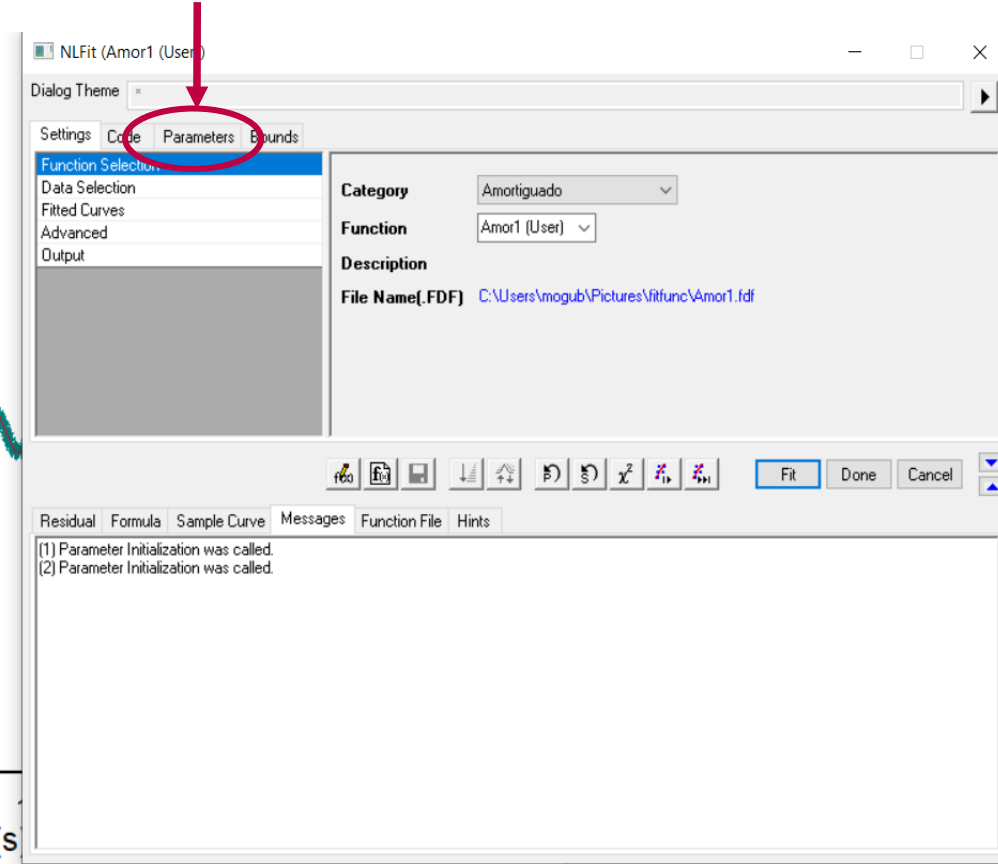
Luego de completar la información de esta ventana apretar el botón **Finish**.



Luego de apretar el botón **Finish** se abre la siguiente ventana:

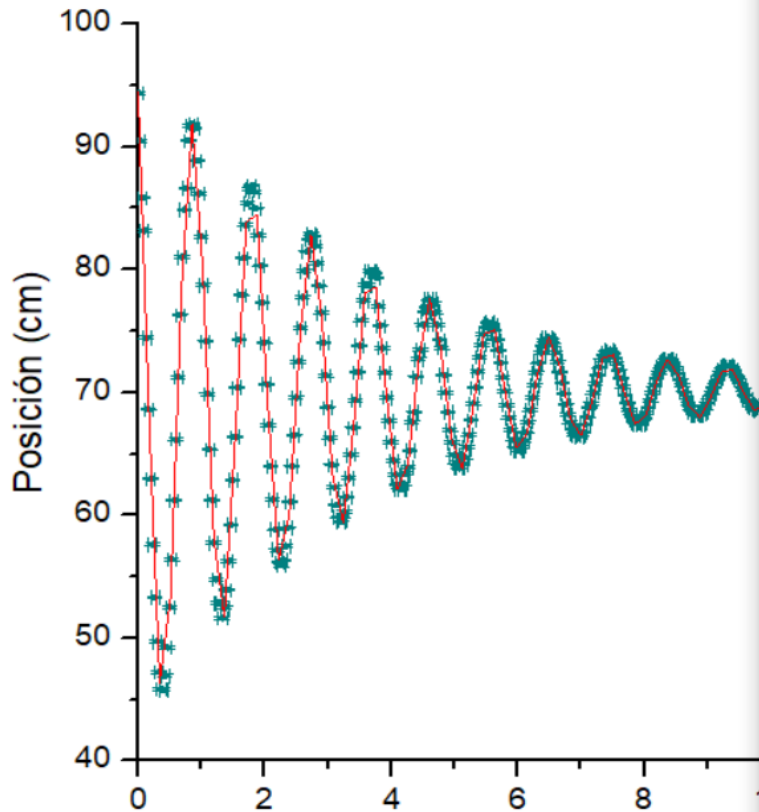
En rojo vemos el dibujo de la curva de ajuste con los parámetros que definimos en la diapositiva anterior.



Hacer clic sobre la solapa **Parameters**.



Desmarcar la opción **Fixed** de alguno de los parámetros así se lo deja libre para que, en cada iteración, se encuentre el valor que mejor describe los datos experimentales. Luego apretar el botón  (1 iteración) ó  (varias iteraciones hasta que converja).



The screenshot shows the 'NLFit (Amor1 (User))*' dialog box with the 'Parameters' tab selected. A red circle highlights the 'Fixed' column in the parameter table, where the checkboxes for 'A', 'w', and 'y0' are checked, and the checkbox for 'R2' is unchecked. Another red circle highlights the 'Fit until converged' button in the bottom right corner.

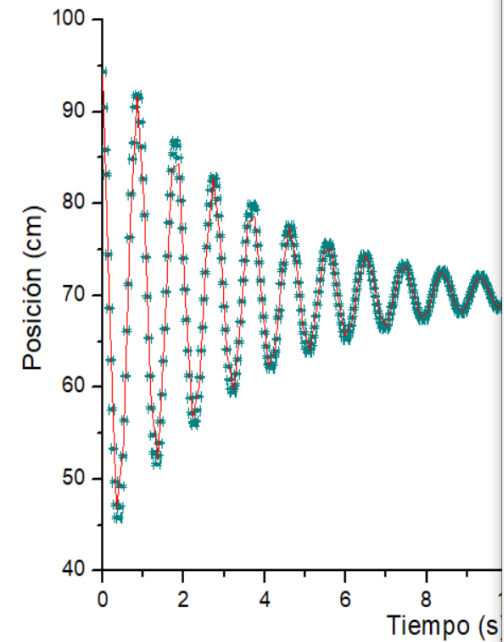
NO.	Param	Meaning	Fixed	Value	Error	Dependency	Lower Conf Limits	Upper Conf Limits	Significant Digits
1	A	?	<input checked="" type="checkbox"/>	27,89	0	0	--	--	System
1	w	?	<input type="checkbox"/>	6,68551	0,00102	0,48148	--	--	System
1	R1	?	<input checked="" type="checkbox"/>	0,286	0	0	--	--	System
1	y0	?	<input checked="" type="checkbox"/>	70,15	0	0	--	--	System
1	R2	?	<input type="checkbox"/>	-0,51343	0,00248	0,48148	--	--	System

Fit converged

Residual Formula Sample Curve Messages Function File Hints

(12) Parameter Initialization was called.
(13) -----Levenberg-Marquardt-----
Reduced Chi-sqr = 7,89610661163
COD(R²) = 0,99794650355092
Iterations Performed = 1
Total Iterations in Session = 1
Chi-sqr is reduced.

(14) -----Levenberg-Marquardt-----
Reduced Chi-sqr = 6,73896649364
COD(R²) = 0,99824743453377
Iterations Performed = 5
Total Iterations in Session = 6
Fit converged - tolerance criterion satisfied.



Dialog Theme

Settings Code Parameters Bounds

Auto Parameter Initialization Hide...

Double click cells to change operator. Right click cells for more options.

NO.	Param	Meaning	Fixed	Value	Error	Dependency	Lower Conf Limits	Upper Conf Limits	Significant Digits
1	A	?	<input checked="" type="checkbox"/>	27.57455	0.06488	0.51659	--	--	System
1	w	?	<input type="checkbox"/>	6.6848	9.27642E-4	0.49355	--	--	System
1	R1	?	<input type="checkbox"/>	0.28736	9.5749E-4	0.52283	--	--	System
1	y0	?	<input type="checkbox"/>	70.23844	0.01013	0.00328	--	--	System
1	R2	?	<input type="checkbox"/>	-0.51478	0.00223	0.49103	--	--	System

Fit converged

Residual Formula Sample Curve Messages Function File Hints

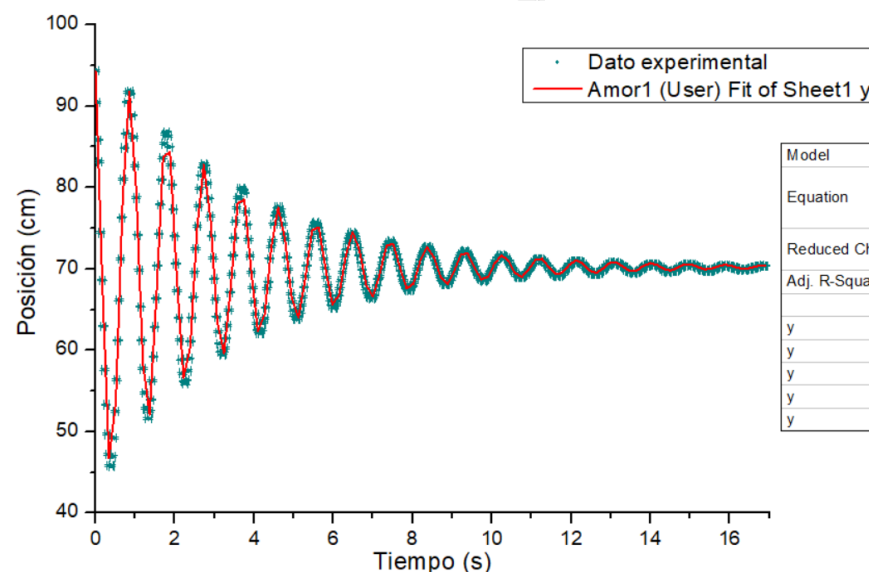
[18] -----Levenberg-Marquardt-----
 Reduced Chi-sqr = 5,20081737393
 COD(R^2) = 0,99865547130649
 Iterations Performed = 1
 Total Iterations in Session = 10
 Chi-sqr is reduced.

[19] -----Levenberg-Marquardt-----
 Reduced Chi-sqr = 5,20079489356
 COD(R^2) = 0,99865547727329
 Iterations Performed = 3
 Total Iterations in Session = 13
 Fit converged - tolerance criterion satisfied.

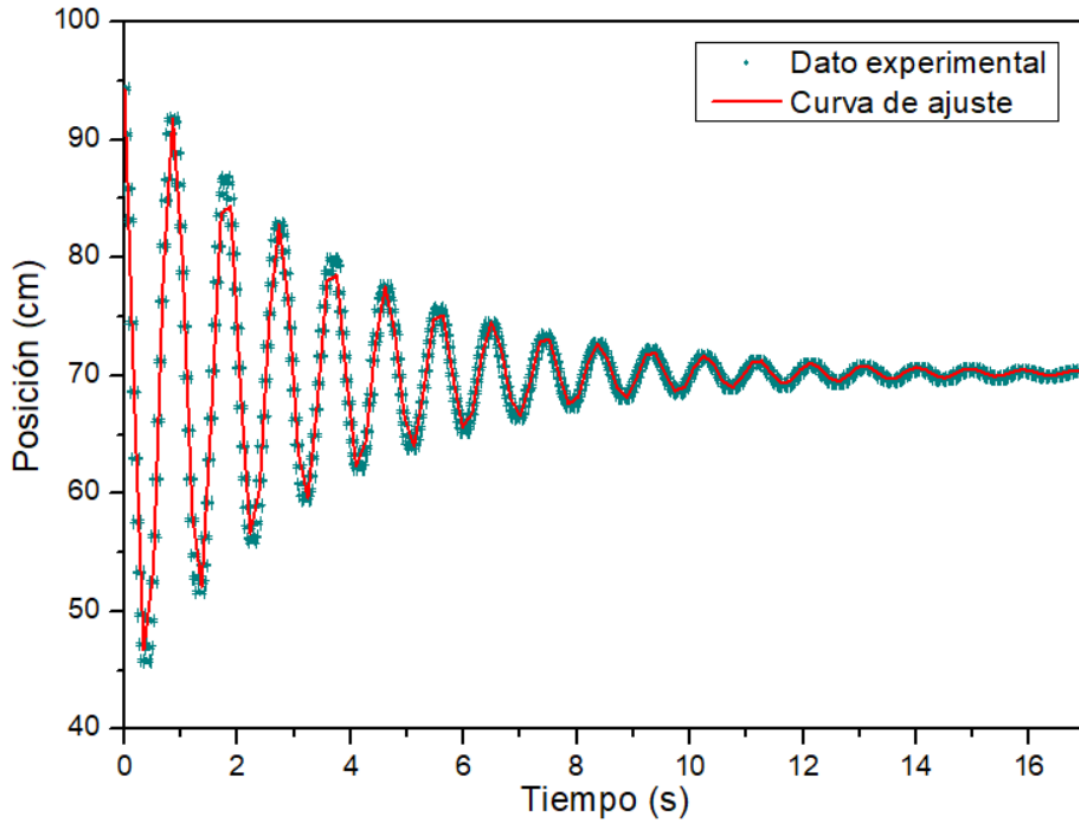
OK Done Cancel

Al final dejar todos los parámetros desmarcados e iterar hasta que coverja. Luego apretar el botón **OK**.

Aquí se observa el gráfico con la curva de ajuste y el resultado de los parámetros.



Model	Amor1 (User)		
Equation	$y0 + A * \exp(-R1 * x) * \cos(w * x + R2)$		
Reduced Chi-Sqr	5,20079		
Adj. R-Square	0,99864		
	Value	Standard Error	
y	A	27,57455	0,06488
y	w	6,6848	9,27642E-4
y	R1	0,28736	9,5749E-4
y	y0	70,23844	0,01013
y	R2	-0,51478	0,00223



Resultado final. Reportar los parámetros con las cifras significativas apropiadas y con las unidades que correspondan.

$$y = y_0 + A e^{-R_1 x} \cos(\omega x + R_2)$$

$$y_0 = (70,24 \pm 0,01) \text{ cm}$$

$$A = (27,57 \pm 0,06) \text{ cm}$$

$$R_1 = (0,287 \pm 0,001) \text{ s}^{-1}$$

$$\omega = (6,6848 \pm 0,0009) \text{ rad/s}$$

$$R_2 = (-0,515 \pm 0,002) \text{ rad}$$