

**INGENIERÍA SISMO-GEOTÉCNIA**

**ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA PARA ELIMINACIÓN DE RÉPLICAS DE CATÁLOGOS SÍSMICOS**

**DECLUSTERING DE DATOS SÍSMICOS**

**TUTORIAL**

**FRANCISCO ALBERTO BARBOSA MARÍN**

**JOSE ALBERTO ARANGO SÁNCHEZ**

**ESTUDIANTE DE MAESTRIA INGENIERÍA GEOTECNIA   ESTUDIANTE DE INGENIERIA DE SISTEMAS**



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA**  
**SEDE MEDELLÍN**



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**  
**1803**

## 1. Eliminación de réplicas de catálogos sísmicos

### 1.1. Metodología

Se utiliza la metodología de ventanas de distancia y de tiempo de Gardner y Knopoff, 1974.

Para cada terremoto en el catálogo con magnitud  $M$ , los terremotos subsiguientes de menor magnitud son identificados como réplicas si ocurren dentro de un intervalo de distancia  $d$  ( $M$ ) y dentro de un intervalo de tiempo especificado  $t$  ( $M$ ). Los terremotos de menor magnitud premonitorios se tratan de la misma manera que las réplicas. En consecuencia, las ventanas de espacio-tiempo se restablecen de acuerdo a la magnitud del mayor terremoto en una secuencia de datos sísmicos.

A continuación se presentan las expresiones para determinar las magnitudes de las ventanas de espacio y tiempo (Gardner y Knopoff, 1974):

Ventana de distancia

$$d = 10^{0,1238M+0,983} \quad [\text{Km}]$$

Ventana de tiempo

$$t = 10^{0,032M+2,7389} \quad [\text{dias}] \quad M \geq 6,5$$

$$t = 10^{0,5409M-0,547} \quad [\text{dias}] \quad M < 6,5$$

Criterios de identificación de réplicas

Aquellos datos que están dentro de las ventanas de distancia y de tiempo de un dato  $i$  y que tengan magnitud menor que la magnitud del dato  $i$ .

## 1.2. Algoritmo de eliminación de réplicas utilizado para crear el programa

El algoritmo utilizado se presenta en el diagrama de flujo de la Figura 1.

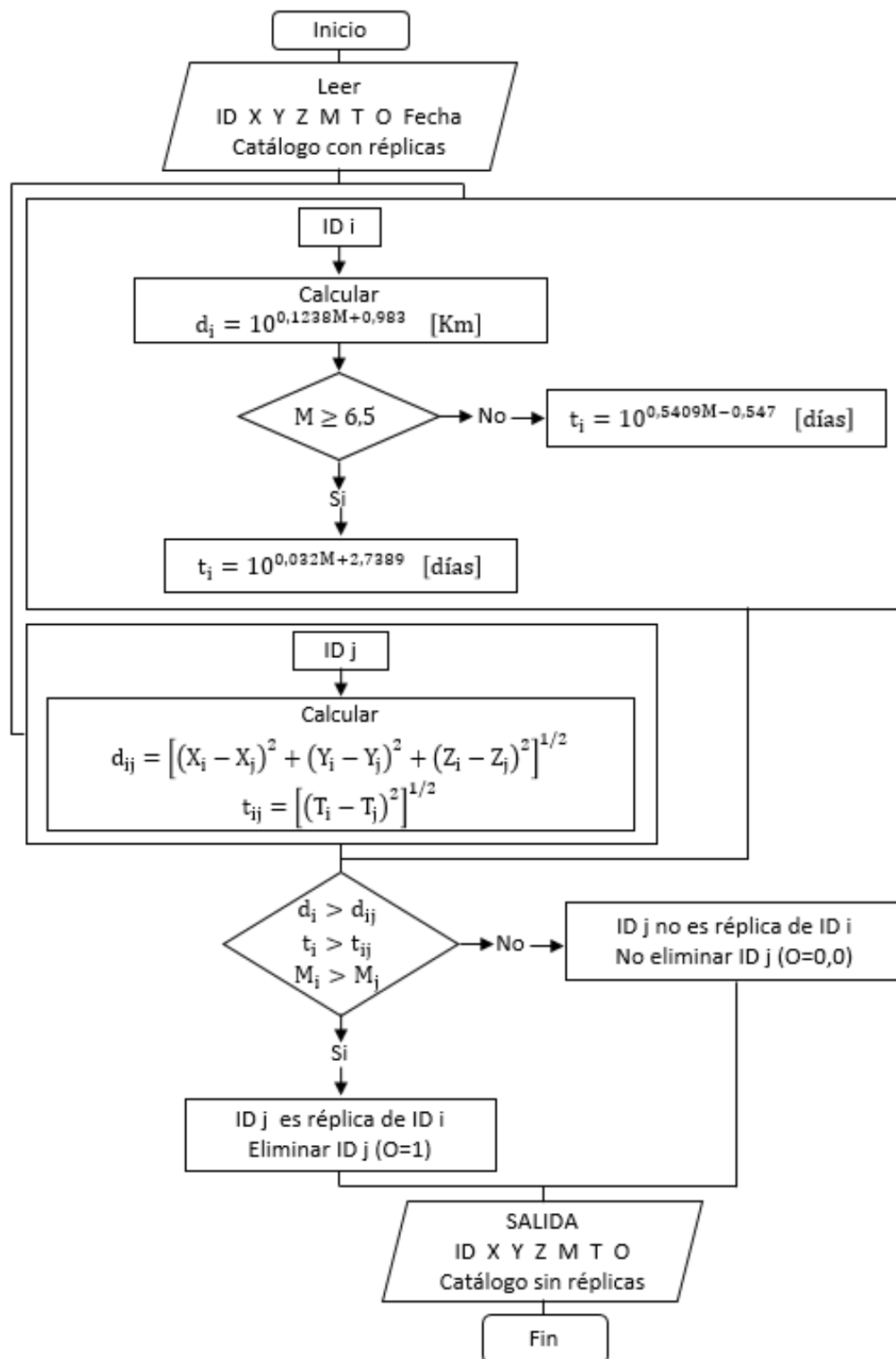


Figura 1. Diagrama de flujo del programa

### 1.3. Ejemplo demostrativo

#### 1.3.1. Ejecución de las operaciones de modo manual

A continuación se presenta un catálogo de sismos. Los valores de cada variable y las fechas no son reales, solo son dados para mostrar con claridad el proceso de eliminación de réplicas por ventanas de espacio y tiempo (Gardner y Knopoff, 1974) que internamente realiza el programa.

#### Catálogo de entrada

El catálogo de entrada para el programa se muestra en la Tabla 1 y las unidades y referencias de las variables, en la Tabla 2.

ID es la numeración de cada evento sísmico, X es la coordenada este del foco del sismo (en Km), Y es la coordenada norte del foco (en Km), Z es la profundidad del foco (en Km) referenciado con respecto al nivel del mar, M es la magnitud del sismo en escala Mw u otra escala, T es el tiempo transcurrido en días entre el año 1500 y la fecha en que ocurre el sismo.

Tabla 1. Catálogo de entrada para el programa

Catálogo de entrada							
ID	X	Y	Z	M	T	O	Fecha
1	150	300	70	7	100	0	10/4/1500
2	180	240	60	5	500	0	15/5/1501
3	175	355	65	9	900	0	19/6/1502
4	110	370	75	3.5	850	0	30/4/1502
5	140	150	55	6.5	1200	0	15/4/1503

Tabla 2. Unidades de las variables

Variable	Unidades	Referencia
X	km	Magna-Sirgas Bogotá
Y	km	Magna-Sirgas Bogotá
Z	km	0,00 m.s.n.m
M	MW	-
T	Días	Año 1500

#### Eliminación de réplicas

En la columna de ceros "O" se identifica el dato eliminado con el número 1.

1	ID ELIMINADO
---	--------------

A continuación se muestra el proceso de eliminación de réplicas.

Entre la Tabla 3 y la Tabla 7 se muestra el proceso de cálculo y análisis de cada evento sísmico del catálogo. En estas tablas k=j pero por encima del ID i en proceso de análisis.

### Análisis del evento sísmico ID 1

En la Tabla 3 se observa que solo el ID 2 es una réplica de ID 1, ya que cumple con todas las condiciones de distancia, tiempo y magnitud.

Tabla 3. Cálculos y proceso de eliminación de réplicas con respecto al ID 1.

ID 1														
ID	X	Y	Z	M	T	O	di	ti	d 1,j	t 1,j	Condicionales			
1	150	300	70	7	100	0	70.73	918.1						i
2	180	240	60	5	500	1	39.99	143.7	67.8	400	d1>d1,2	t1>t1,2	M1>M2	J
3	175	355	65	9	900	0	125.08	1063.9	60.6	800	d1>d1,3	t1>t1,3	M1<M3	J
4	110	370	75	3.5	850	0	26.08	22.2	80.8	750	d1<d1,4	t1>t1,4	M1>M4	J
5	140	150	55	6.5	1200	0	61.33	884.9	151.1	1100	d1<d1,5	t1<t1,5	M1>M5	J

### Análisis del evento sísmico ID 2

El ID 2 ya ha sido eliminado del catálogo por ser réplica de ID 1, por tanto, se pasa al análisis con el ID 3.

Tabla 4. Análisis del ID 2.

ID 2
No puede eliminar a otro ID porque ya fue eliminado

### Análisis del evento sísmico ID 3

En la Tabla 5 se observa que el ID 1 y el ID 4 son réplicas de ID 3, ya que cumplen con todas las condiciones de distancia, tiempo y magnitud. Se observa que ID 2 también puede ser identificado como réplica de ID3, pero ya fue identificado como réplica de ID 1, por lo tanto, ID 2 es una réplica secundaria, ya que es réplica de una réplica. El algoritmo utilizado no hace esta clasificación, solo hace el proceso de eliminación.

Tabla 5. Cálculos y proceso de eliminación de réplicas con respecto al ID 3.

ID 3													
ID	X	Y	Z	M	T	O	di	ti	d 3,j	d 3,K	t 3,j	t 3,K	Condicionales
1	150	300	70	7	100	1	70.73	918.1	60.6		800		d3>d3,1   t3>t3,1   M3>M1   k
2	180	240	60	5	500	1	39.99	143.7	115.2		400		d3>d3,2   t3>t3,2   M3>M2   k
3	175	355	65	9	900	0	125.08	1063.9					i
4	110	370	75	3.5	850	1	26.08	22.2	67.5		50		d3>d3,4   t3>t3,4   M3>M4   j
5	140	150	55	6.5	1200	0	61.33	884.9	208.2		300		d3<d3,5   t3>t3,5   M3>M5   j

#### Análisis del evento sísmico ID 4

El ID 4 ya ha sido eliminado del catálogo por ser réplica de ID 3, por tanto, se pasa al análisis con el ID 5.

Tabla 6. Análisis del ID 4.

ID 4
No puede eliminar a otro ID porque ya fue eliminado

#### Análisis del evento sísmico ID 5

En la Tabla 7 se observa que ID 3 no es réplica de ID 5, ya que no cumple con las condiciones de distancia y de magnitud.

Tabla 7. Cálculos y proceso de eliminación de réplicas con respecto al ID 5.

ID 5																
No puede eliminar al ID3 porque está fuera de la ventana de distancia tiene magnitud menor que ID 3																
ID	X	Y	Z	M	T	O	di	ti	d 5,j	d 5,K	t 5,j	t 5,K	Condicionales			
1	150	300	70	7	100	1	70.73	918.1							k	
2	180	240	60	5	500	1	39.99	143.7							k	
3	175	355	65	9	900	0	125.08	1063.9	208.2		300		d5<d5,3	t5>t5,3	M5<M3	k
4	110	370	75	3.5	850	1	26.08	22.2							k	
5	140	150	55	6.5	1200	0	61.33	884.9							i	

### Catálogo de salida

En la tabla 8 se muestra el catálogo luego del proceso de eliminación de réplicas. Las réplicas se identifican con el número 1 en la columna de ceros "O".

El proceso termina con el análisis del ID 5 y el catálogo queda con las réplicas identificadas ID 1, ID 2 e ID4.

El catálogo sin réplicas queda con los datos ID 3 e ID 5.

Tabla 8. Catálogo de salida con las réplicas marcadas.

Catálogo de salida							
ID	X	Y	Z	M	T	O	Fecha
1	150	300	70	7	100	1	10/4/1500
2	180	240	60	5	500	1	15/5/1501
3	175	355	65	9	900	0	19/6/1502
4	110	370	75	3.5	850	1	30/4/1502
5	140	150	55	6.5	1200	0	15/4/1503

En la Tabla 9 se muestra el catálogo con las réplicas eliminadas.

Tabla 9. Catálogo de salida con las réplicas eliminadas.

ID	X	Y	Z	M	T	O	Fecha
3	175	355	65	9	900	0	19/6/1502
5	140	150	55	6.5	1200	0	15/4/1503

En la tabla 10 se muestra el catálogo con réplicas eliminadas con los espacios vacios eliminados.

Tabla 10. Catálogo de salida ajustado.

ID	X	Y	Z	M	T	O	Fecha
3	175	355	65	9	900	0	19/6/1502
5	140	150	55	6.5	1200	0	15/4/1503



### 1.3.2. Ejecución de las operaciones con el programa

Se abre el programa y se da click en el botón “Selecccionar Archivo” y se busca el archivo en el navegador (ver Figura 2).

El catálogo de entrada debe estar en formato .xlsx sin datos externos fuera de las columnas especificadas.

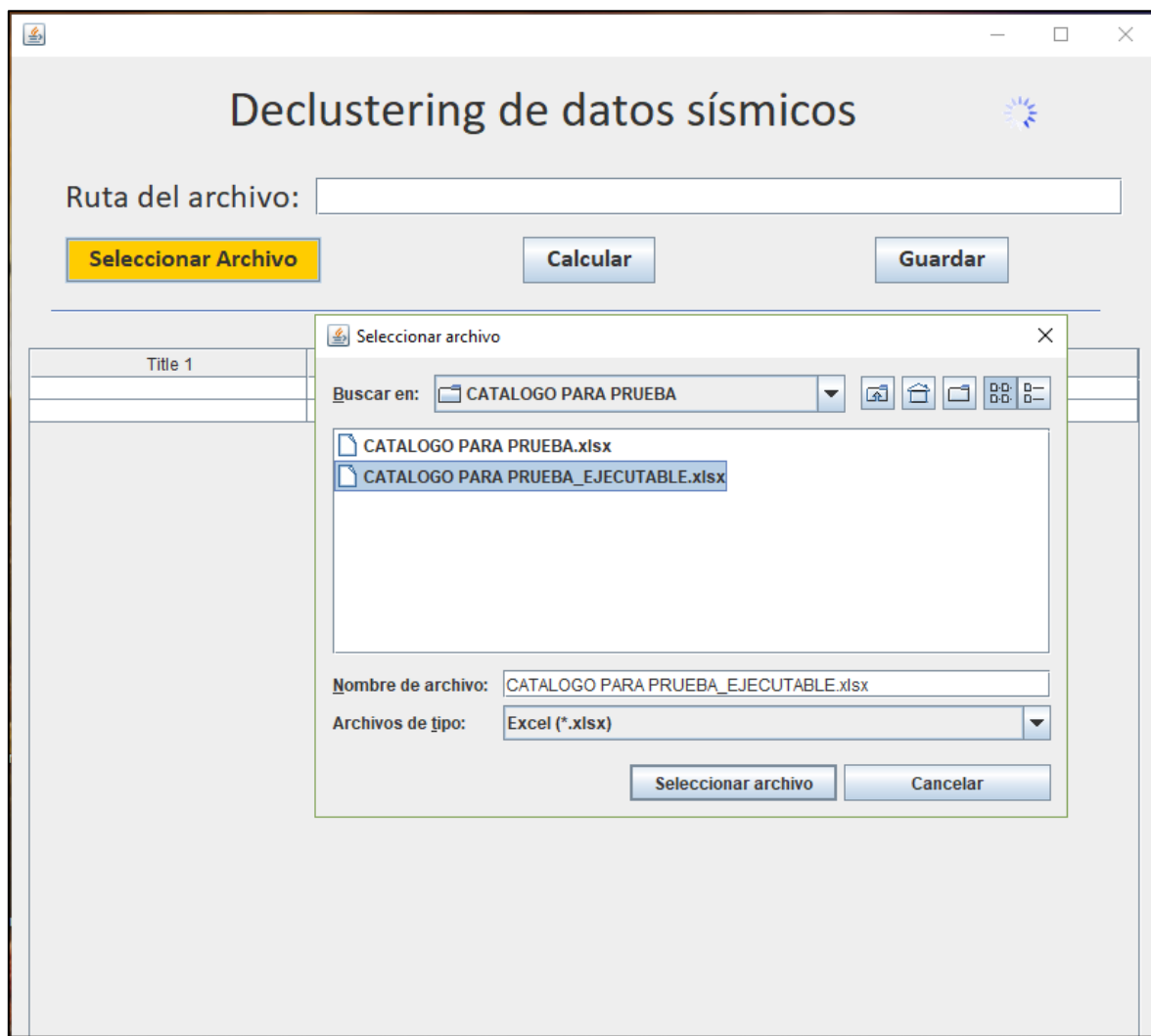


Figura 2. Importación del catálogo.

Si el archivo abre correctamente aparece el mensaje “Importación exitosa” (ver Figura 3).

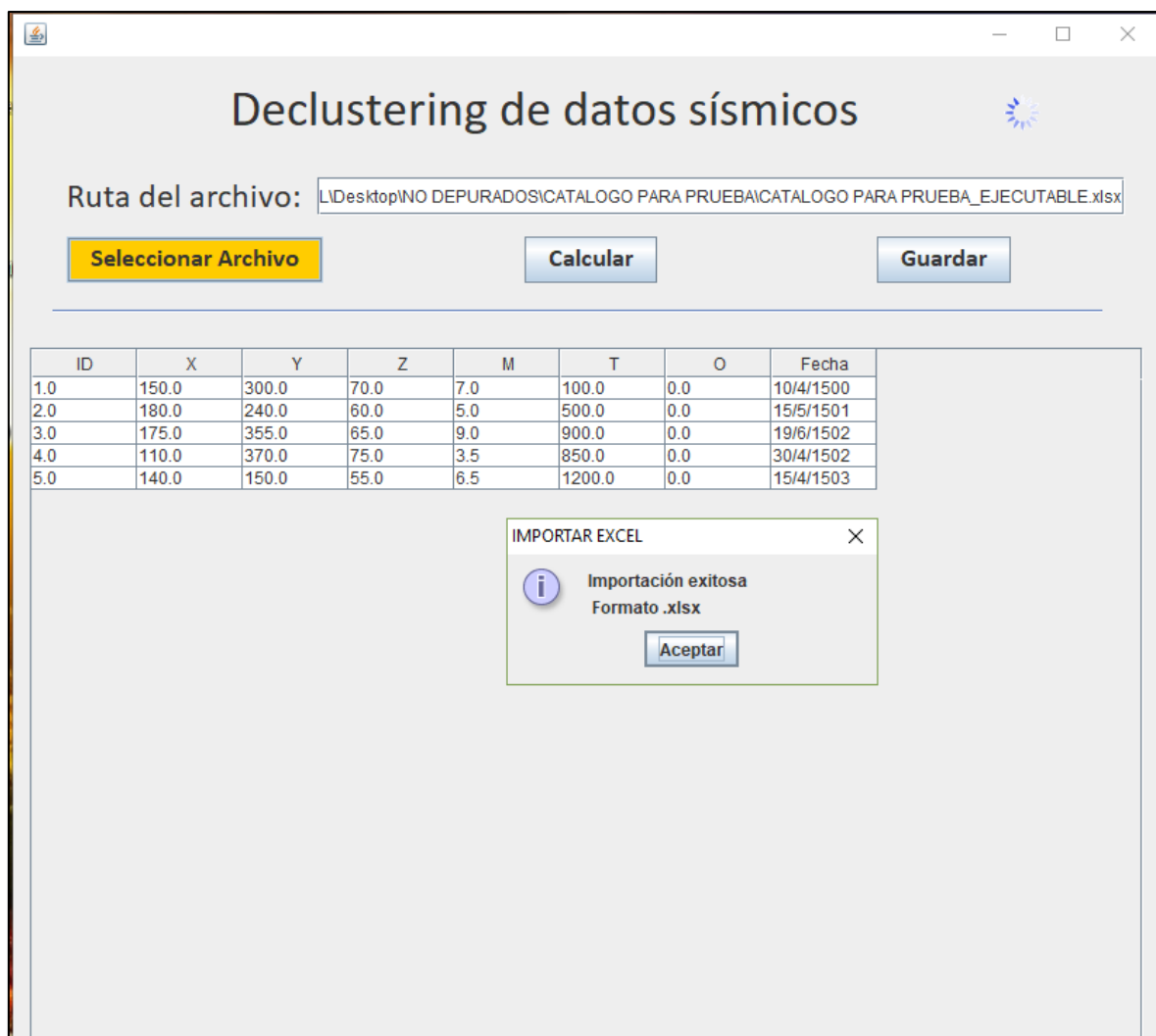


Figura 3. Importación exitosa del catálogo.

Luego se da click en el botón “Calcular”. Si los cálculos se hacen correctamente, aparece el mensaje “se calculó con éxito” (ver Figura 4).

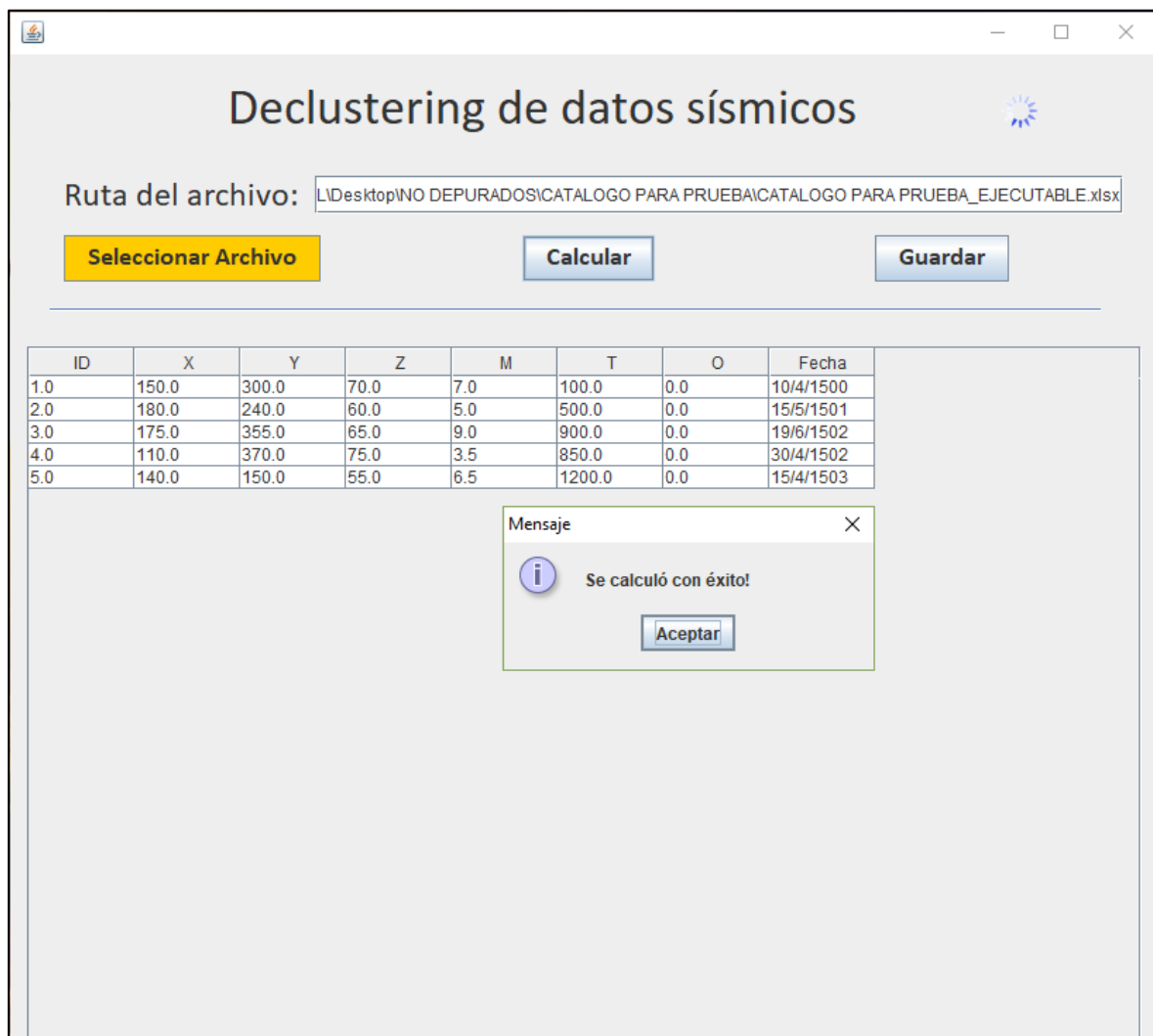


Figura 4. Cálculo de operaciones con éxito.

Ahora se da click en el botón Guardar y se busca la ruta donde se desea guardar el archivo de salida. Se debe escribir “.csv” al final del nombre del archivo, como aparece resaltado en la Figura 5.

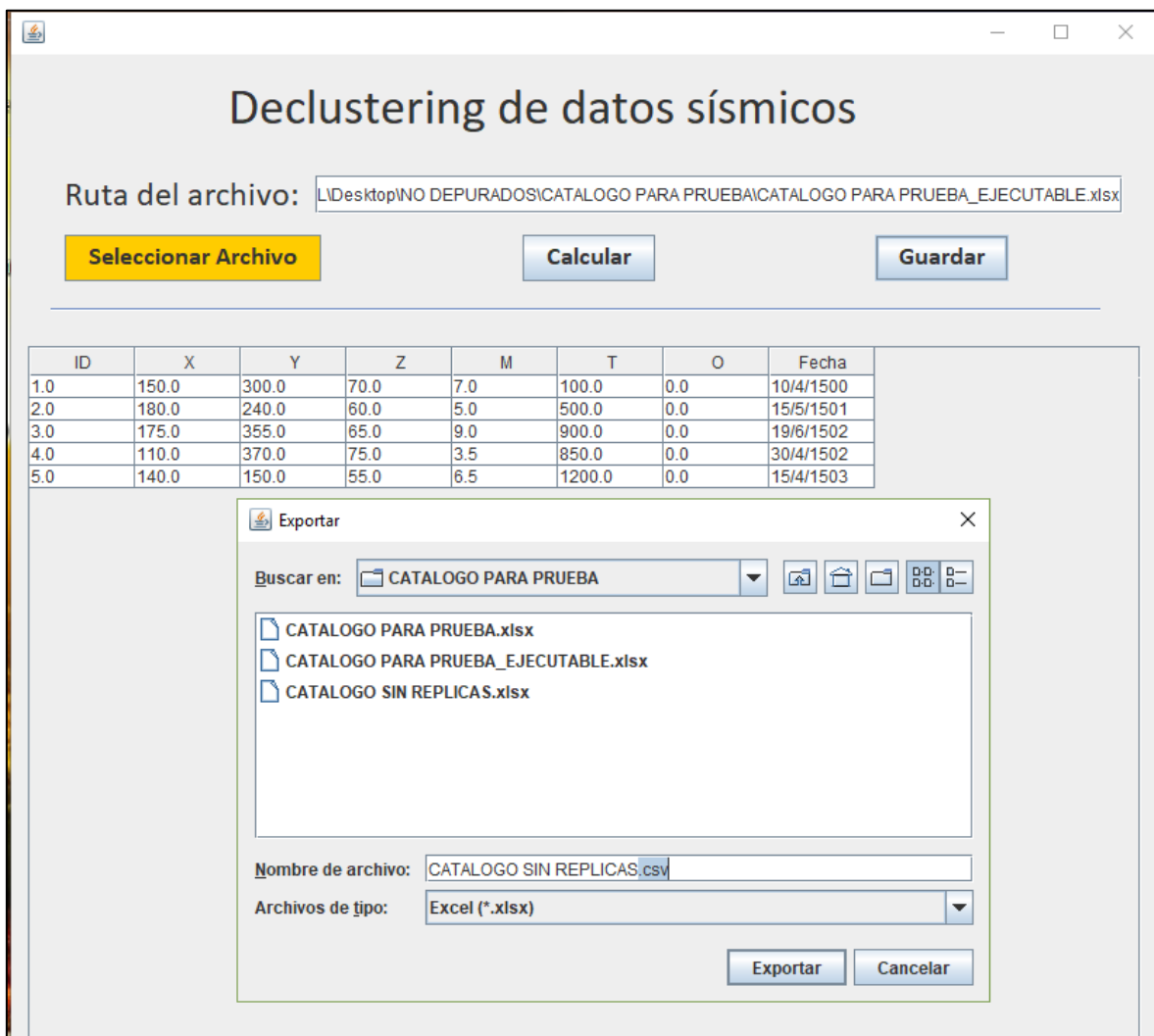


Figura 5. Exportación de resultados en formato “.csv”.

Si la exportación se hace correctamente, aparece el mensaje “Exportación exitosa” (ver Figura 6).

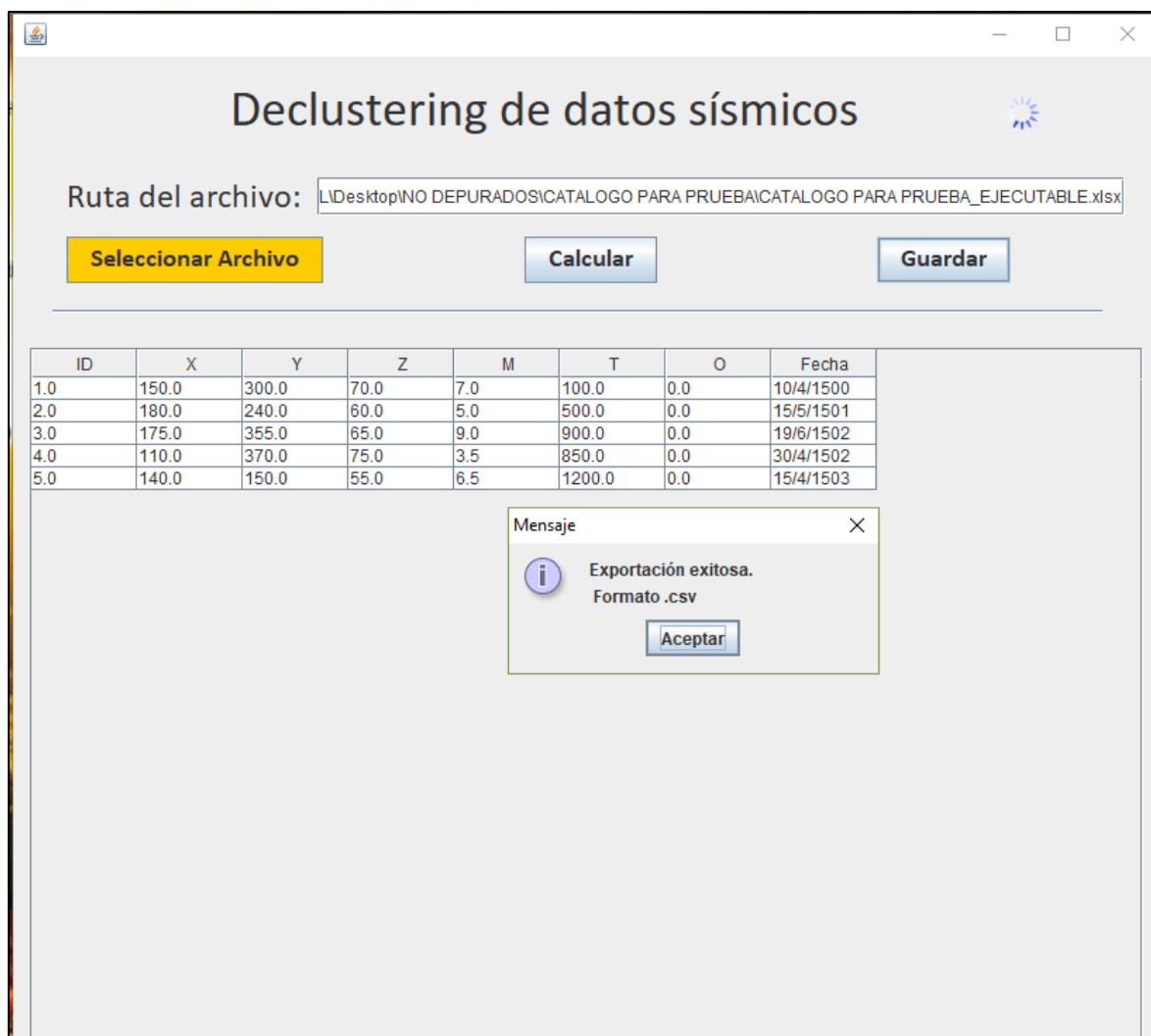


Figura 6. Exportación exitosa del catálogo sin réplicas.

El catálogo sin réplicas queda guardado en la ruta especificada en formato .csv (ver Figura 7).

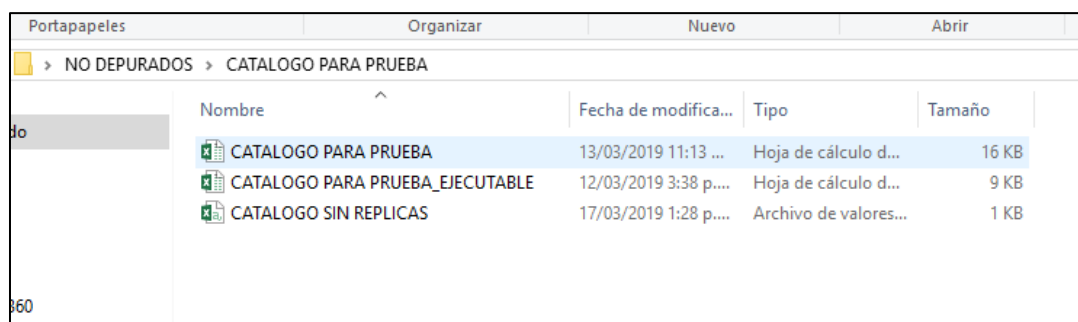


Figura 7. Catálogo sin réplicas en formato “.csv”.

Para abrir el archivo del catálogo sin réplicas se abre el programa Excel. En la barra de menús vamos a “Datos”, buscamos “Obtener datos externos” y luego damos click en “Desde un archivo de textos”. Se busca el archivo de salida en el navegador (ver Figura 8).

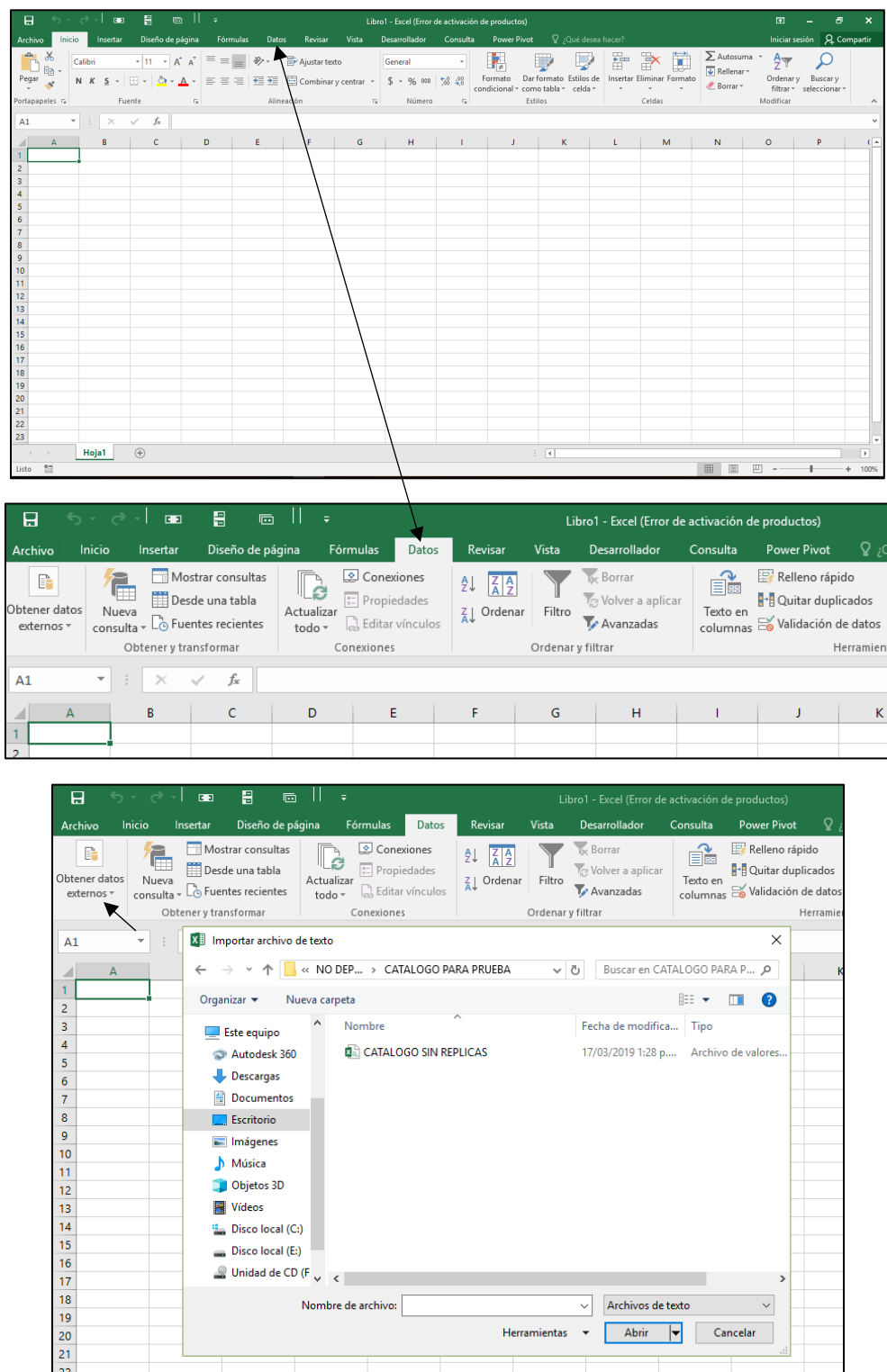


Figura 8. Importando el catálogo sin réplicas en Excel.

Se da click en “Siguiente” (ver Figura 9).

Asistente para importar texto - paso 1 de 3

El asistente estima que sus datos son Delimitados.  
Si esto es correcto, elija Siguiente, o bien elija el tipo de datos que mejor los describa.

Tipo de los datos originales

Elija el tipo de archivo que describa los datos con mayor precisión:

☒ Delimitados - Caracteres como comas o tabulaciones separan campos.  
☐ De ancho fijo - Los campos están alineados en columnas con espacios entre uno y otro.

Comenzar a importar en la fila: 1 Origen del archivo: MS-DOS (PC-8)

☐ Mis datos tienen encabezados.

Vista previa del archivo C:\Users\DELL\Desktop\NO DEPURADOS\CATALOGO PARA PRUEBA\CATALOGO SIN REPLICAS.csv.

1	ID, X, Y, Z, M, T, O, Fecha
2	
3	
4	
5	3.0, 175.0, 355.0, 65.0, 9.0, 900.0, 0.0, 19/6/1502

Cancelar < Atrás **Siguiente >** Finalizar

Figura 9. Importando el catálogo sin réplicas en Excel.

En los separadores se elige “Coma” (ver Figura 10).

Asistente para importar texto - paso 2 de 3

Esta pantalla le permite establecer los separadores contenidos en los datos. Se puede ver cómo cambia el texto en la vista previa.

Separadores

☒ Tabulación  
☐ Punto y coma  
☒ Coma  
☐ Espacio  
☐ Otro:

☐ Considerar separadores consecutivos como uno solo

Calificador de texto: "

Vista previa de los datos

ID	X	Y	Z	M	T	O	Fecha
3.0	175.0	355.0	65.0	9.0	900.0	0.0	19/6/1502

Cancelar < Atrás **Siguiente >** Finalizar

Figura 10. Importando el catálogo sin réplicas en Excel.

Se da click en “Aceptar” (ver Figura 11).

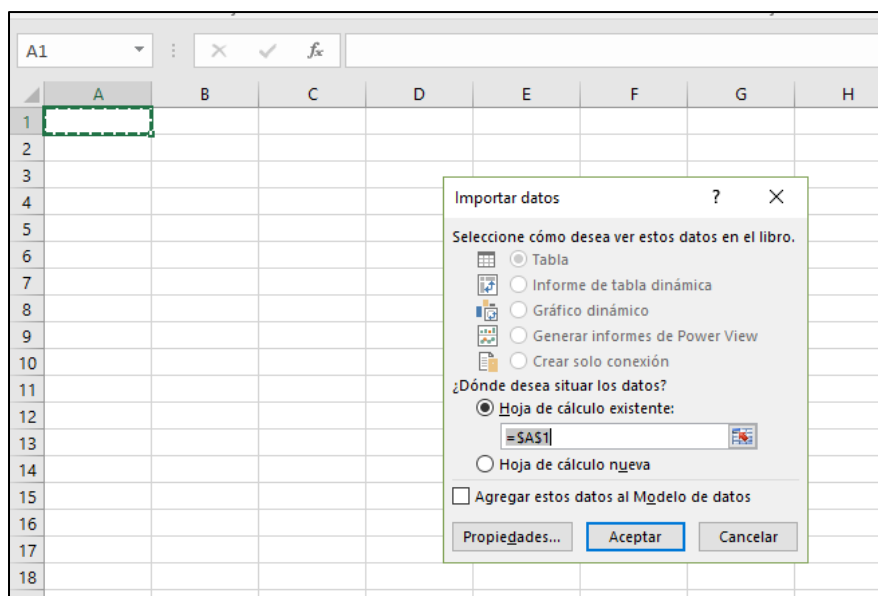


Figura 11. Importando el catálogo sin réplicas en Excel.

Finalmente se visualiza el catálogo de Salida (catálogo sin las réplicas) (ver Figura 12).

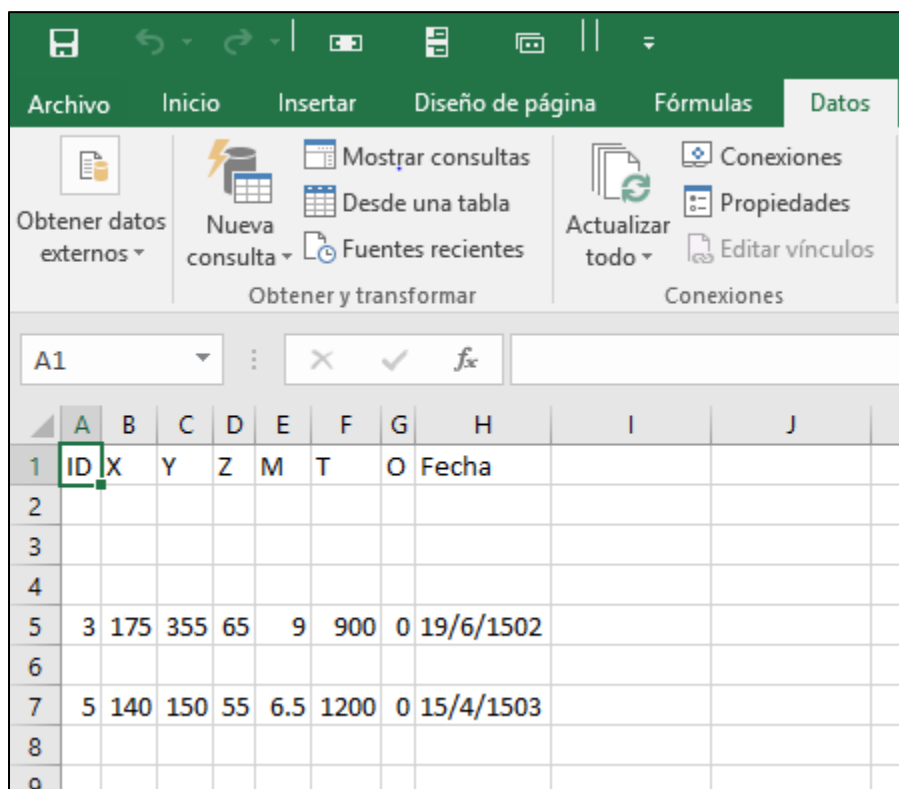


Figura 12. Importación exitosa del catálogo sin réplicas en Excel.



## Eliminando los espacios vacíos

Seleccionamos una celda vacía dentro de las columnas de datos.

En la barra de menús vamos a “Inicio”, en la barra de herramientas seleccionamos “Buscar y seleccionar” y se da click en “ir a especiales” y se selecciona “Celdas en blanco” (ver Figura 13).

Los espacios vacíos quedan resaltados.

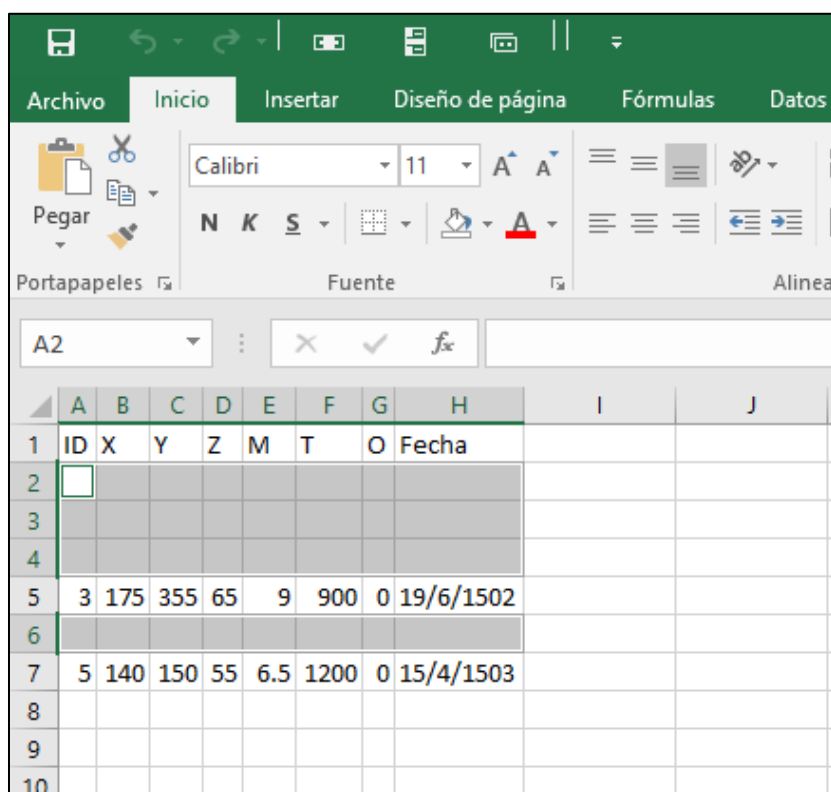
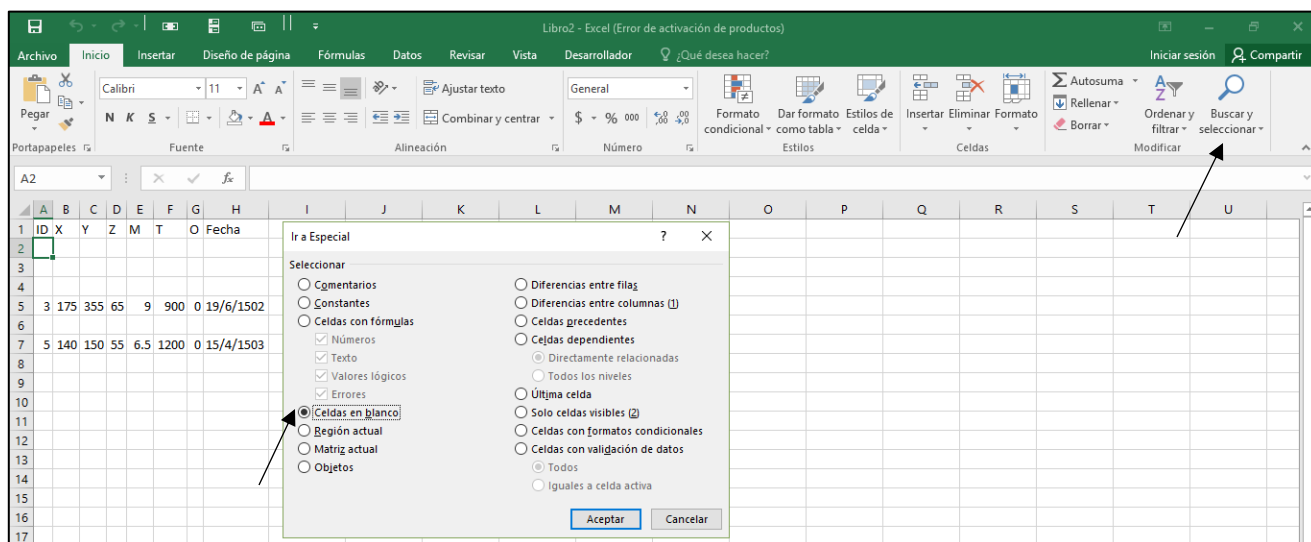


Figura 13. Eliminando los espacios vacíos.

En el menú de herramientas, en “celdas”, se selecciona “Eliminar” y se da click en “Desplazar las celdas hacia arriba” (ver Figura 14).

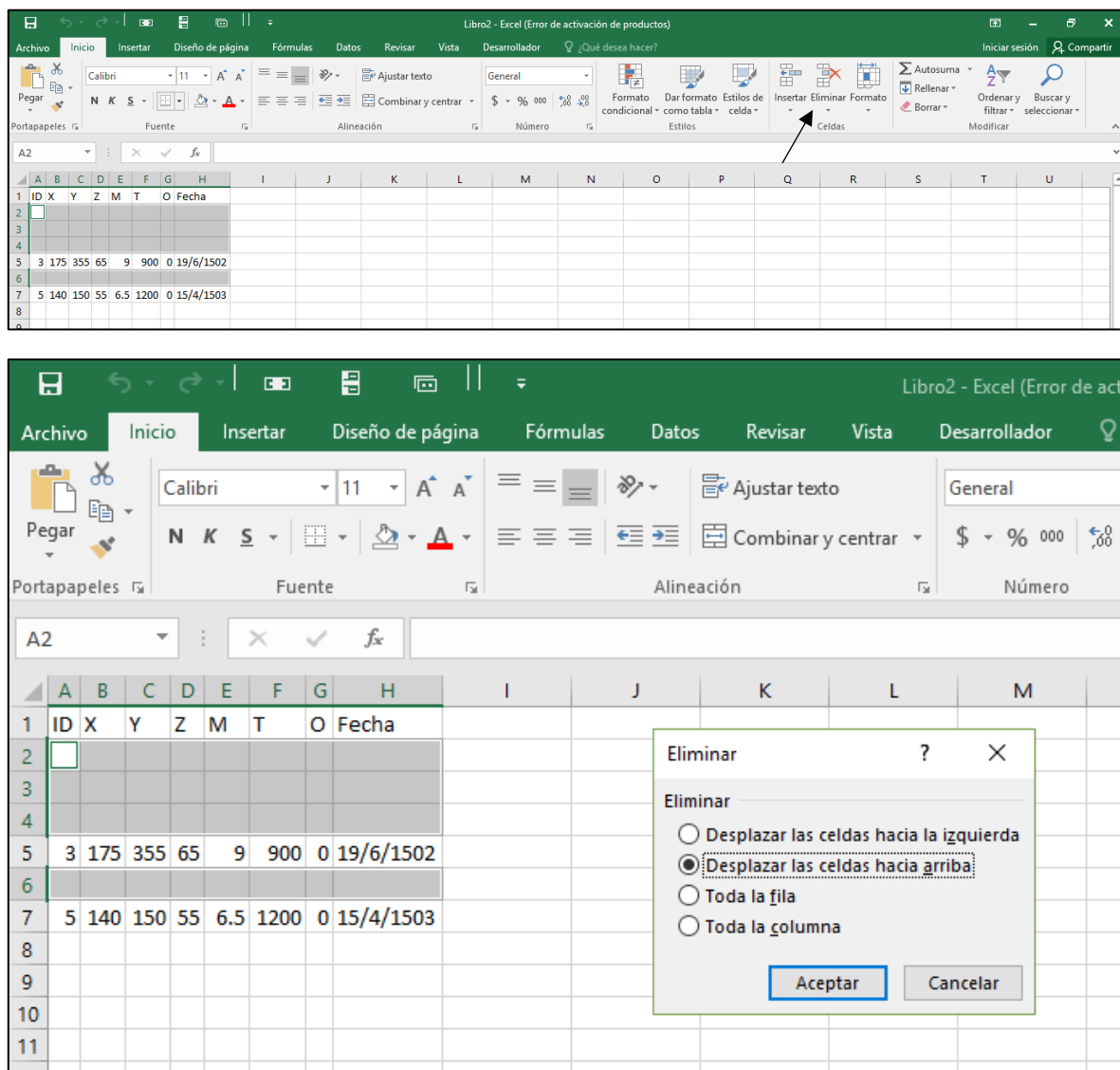


Figura 14. Eliminando los espacios vacíos.

Se obtiene finalmente el catálogo sin réplicas sin los espacios vacíos (ver Figura 15).

The top screenshot shows the Excel interface with the 'Inicio' tab selected. The formula bar shows 'A2'. The catalog data is as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	ID	X	Y	Z	M	T	O	Fecha		
2	3	175	355	65	9	900	0	19/6/1502		
3	5	140	150	55	6.5	1200	0	15/4/1503		
4										
5										
6										
7										
8										

The bottom screenshot shows the Excel interface with the 'Inicio' tab selected. The formula bar shows 'ID'. The catalog data is as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	ID	X	Y	Z	M	T	O	Fecha		
2	3	175	355	65	9	900	0	19/6/1502		
3	5	140	150	55	6.5	1200	0	15/4/1503		
4										
5										

Figura 15. Catálogo de salida sin espacios vacíos.

**Guardando el archivo en formato .xlsx**

Este archivo de Excel, obtenido al importar el catálogo sin réplicas en formato “.csv”, se guarda en formato “.xlsx” en la ruta que especifiquemos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Gardner, J. K., & Knopoff, L. (1974). Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 64, 1363-1367.