

EspectroscopiaCsI

May 8, 2019

```
In [1]: import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy as sci
from astropy.io import ascii
from astropy.table import Column
from scipy import optimize
```

-> Respuesta espectral del detector para una muestra monoenergética de rayos gamma. Obtener en primer lugar el espectro de fondo del laboratorio durante 5 minutos y, a continuación, el espectro de la muestra radiactiva de ^{137}Cs durante 5 minutos. Para calibrar en energía el detector, utilizar el espectro de ^{22}Na que se proporciona.

```
In [2]: espectro_sodio = ascii.read('/home/davsan06/Documentos/PrácticasASTROPARTÍCULAS/Espectros1/EspectroSodio.txt')
background = ascii.read('/home/davsan06/Documentos/PrácticasASTROPARTÍCULAS/Espectros1/Background.txt')

canales = np.arange(0, len(espectro_sodio))
```

```
#Corregimos el espectro de sodio restándole el ruido de fondo
```

```
espectro_sodio = espectro_sodio['0'] - background['0']
```

```
In [3]: #Cargamos la función con la que vamos a ajustar los datos con una gaussiana
```

```
def test_func(x, a, mu, sigma):
    return a * np.exp(-1/(2*sigma**2)*(x-mu)**2)
```

```
In [4]: #Procedemos a la calibración canales-energías sabiendo que en el espectro de sodio encontramos un pico
#causada por la aniquilación de pares con energía conocida de 511 keV
```

```
plt.plot(canales, espectro_sodio)
plt.plot(canales[64:85], espectro_sodio[64:85])
plt.xlim(0,300)
```

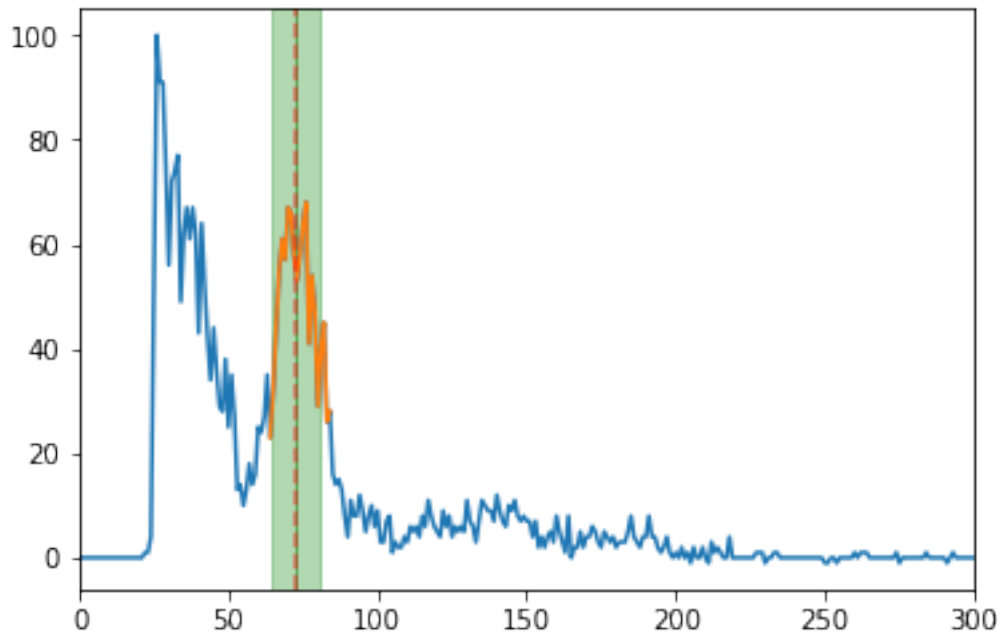
```
#Hacemos la llamada a la función para el ajuste a la gaussiana en el intervalo buscado
```

```
params, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func, canales[64:85], espectro_sodio[64:85])
```

```
a, mu, sigma = params
```

```
plt.axvline(mu, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red')
plt.axvspan(mu-sigma,mu, alpha = 0.3, color = 'green' )
plt.axvspan(mu,mu+sigma, alpha = 0.3, color = 'green' )
print(mu)
```

72.8419011382959



In [5]: *#Calibración lineal de las energías en kiloelectronvoltios*

```
energias = 511/mu*canales
```

In [6]: *#Comprobamos la calibración estudiando que la media de la gaussiana del fotopico en el #cae en 511 keV*

```
plt.plot(energias, espectro_sodio, label = 'Espectro')
plt.plot(energias[64:85], espectro_sodio[64:85], label='Intervalo ajustado')
plt.xlim(0, 1500)
```

```
params, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func,energias[64:85] , espectro_sodio[64:85])
```

```
a, mu, sigma = params
```

```
plt.axvline(mu, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red', label = 'Media = {:.2f} keV')
plt.axvspan(mu-sigma,mu, alpha = 0.3, color = 'green', label = 'Varianza = {:.2f}'.format(sigma))
```

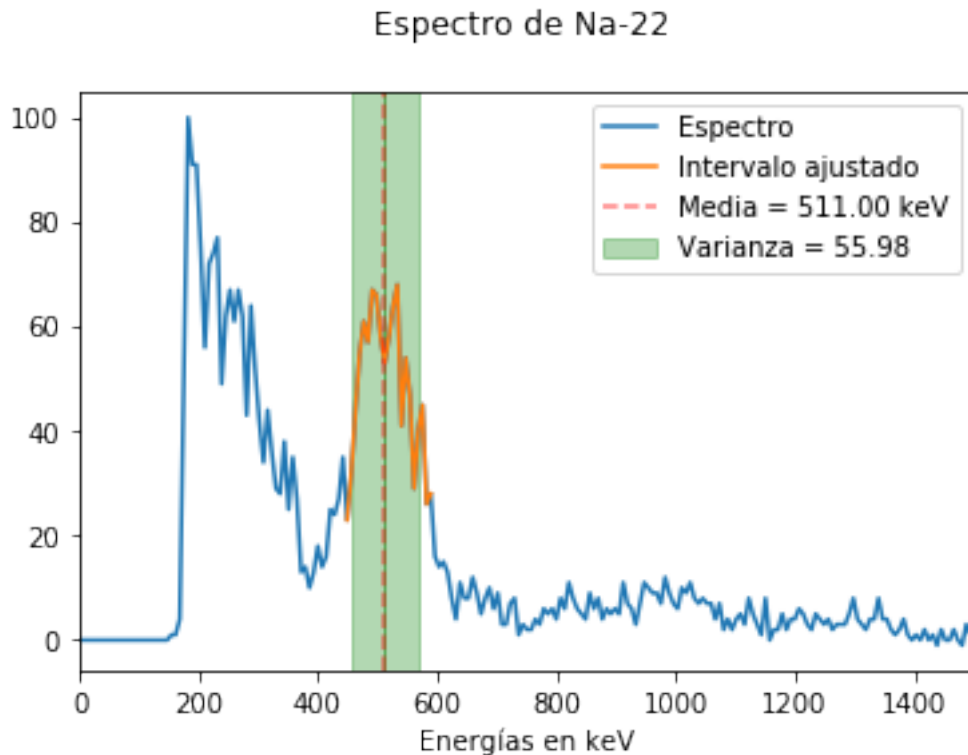
```

plt.axvspan(mu,mu+sigma, alpha = 0.3, color = 'green' )
plt.legend()
plt.title('Espectro de Na-22 \n')
plt.xlabel('Energías en keV')

print('La energía del pico de aniquilación de pares cae en {:.2f} keV'.format(mu))
plt.savefig('EspectroSodioCalibrado')

```

La energía del pico de aniquilación de pares cae en 511.00 keV



x Estudiar la forma del fotopico. Comprobar que su energía es de 662 keV y que se ajusta a una gaussiana. Hallar la resolución en energía del espectrómetro (en tanto por ciento, $\Delta(E)/E$) para este pico.

In [7]: *#Cargamos el espectro de cesio (con 0 mm absorbente) y le restamos el ruido*

```

espectro_Cesio0mmAl = ascii.read('/home/davsan06/Documentos/PrácticasASTROPARTÍCULAS/E
espectro_Cesio0mmAl = espectro_Cesio0mmAl['0'] - background['0']

```

In [8]: *#Realizamos el ajuste por una gaussiana al fotopico del espectro del Cesio (ojalá que .*

```

plt.figure()

```

```

plt.plot(energias, espectro_Cesio0mmAl, label = 'Espectro')
plt.xlim(0,1500)
plt.plot(energias[90:110], espectro_Cesio0mmAl[90:110], label='Intervalo ajustado')

#Ajuste del fotopico

params, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func,energias[90:110] ,espectro_Cesio0mmAl[90:110])
a, mu, sigma = params

plt.axvline(mu, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red', label = 'Media = {:.2f} keV'.format(mu))
plt.axvspan(mu-sigma,mu, alpha = 0.3, color = 'green', label = 'Varianza = {:.2f} keV'.format(sigma))
plt.axvspan(mu,mu+sigma, alpha = 0.3, color = 'green' )
plt.legend()

plt.title('Espectro de Cs-137 \n')
plt.xlabel('Energías en keV')
#plt.xscale('log')

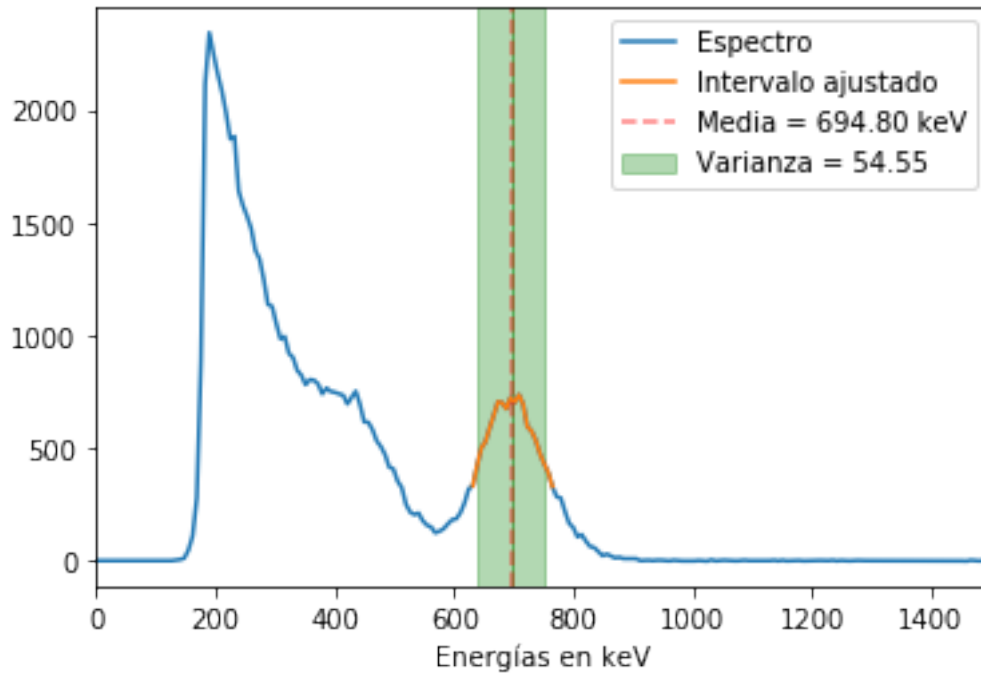
print('La energía medida para el fotopico es {:.2f} keV con una varianza de {:.2f} keV'.format(mu,sigma))
print('La resolución en energías del espectrómetro es {:.2f} %'.format(sigma/mu*100))
print('La altura del fotopico en su valor medio es a = {:.2f}'.format(a))

plt.savefig('FotopicoCesio')

```

La energía medida para el fotopico es 694.80 keV con una varianza de 54.55 keV
 La resolución en energías del espectrómetro es 7.85 %
 La altura del fotopico en su valor medio es a = 725.12

Espectro de Cs-137



In [9]: *#Ajuste del borde Compton*

```
plt.figure()

plt.plot(energias, espectro_Cesio0mmAl, label = 'Espectro')
plt.xlim(0,1500)
plt.plot(energias[57:71], espectro_Cesio0mmAl[57:71], label='Intervalo ajustado')

params_compt, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func,energias[57:71] ,espectro_Cesio0mmAl[57:71])
a_compt, mu_compt, sigma_compt = params_compt

plt.axvline(mu_compt, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red', label = 'Media = {:.2f}'.format(mu_compt))
plt.axvspan(mu_compt-sigma_compt,mu_compt, alpha = 0.3, color = 'green', label = 'Varianza = {:.2f}'.format(sigma_compt))
plt.axvspan(mu_compt,mu_compt+sigma_compt, alpha = 0.3, color = 'green' )
plt.legend()

plt.title('Espectro de Cs-137 \n')
plt.xlabel('Energías en keV')
#plt.xscale('log')
```

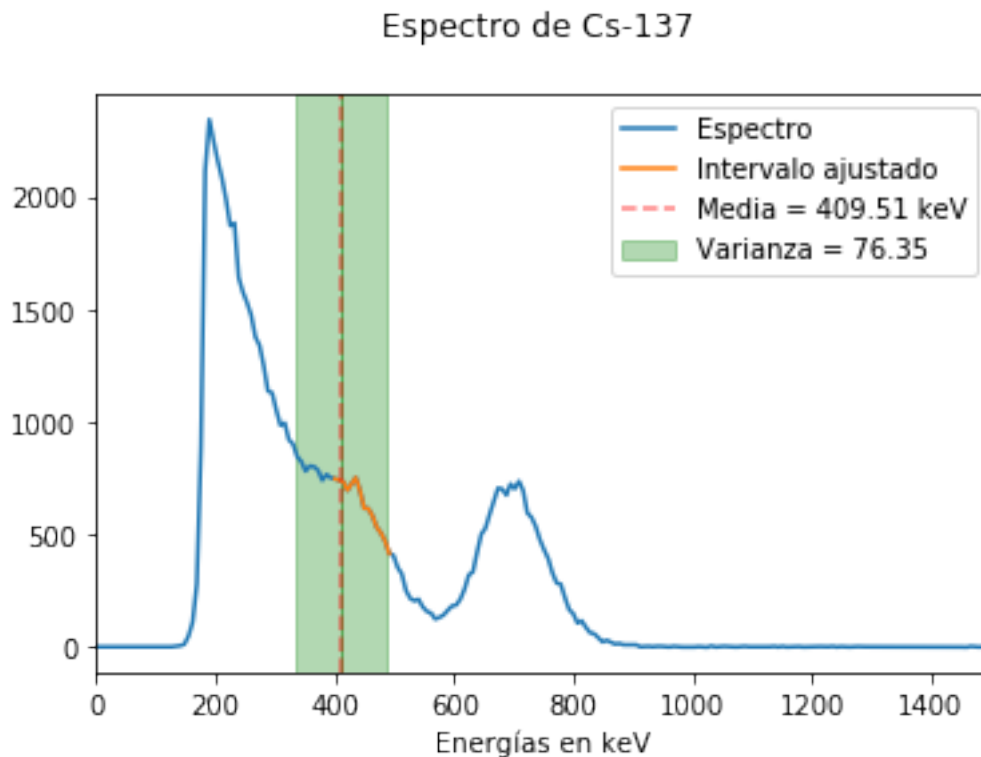
```

print('La energía medida para el borde Compton es {:.2f} keV con una varianza de {:.2f} keV'.format(a_compt, sigma_compt))
print('La resolución en energías del espectrómetro es {:.2f} %'.format(sigma_compt/mu_compt))
print('La altura del fotopico en su valor medio es a = {:.2f}'.format(a_compt))

plt.savefig('BordeComptonCesio')

```

La energía medida para el borde Compton es 409.51 keV con una varianza de 76.35 keV
 La resolución en energías del espectrómetro es 18.64 %
 La altura del fotopico en su valor medio es a = 744.11



Para el cálculo de la resolución en energía del espectrómetro se ha utilizado la información encontrada en :

4.2 Fundamentos de la detección de partículas (diapositiva 26)

$$R = 2.35 \cdot \sigma / \mu$$

-> Estudiar la absorción en diversos materiales. Para ello analizar cómo varía la amplitud del fotopico del Cs-137 cuando se interponen diferentes espesores de aluminio y plomo. Representar el logaritmo de la intensidad (área del fotopico) frente al espesor y obtener las secciones eficaces de interacción en estos materiales a la energía correspondiente. Comparar los resultados con los valores teóricos de las secciones eficaces de los distintos procesos. Discutir los errores de las medidas.

El algoritmo a aplicar para este apartado es el siguiente:

1. Ajustamos cada uno de los fotopicos de los espectros con los distintos absorbentes obteniendo la amplitud, media y varianza de la gaussiana
2. Con estos parámetros calculamos el área de la gaussian (su logaritmo es la intensidad) gracias a la relación conocida

$$\text{Area_gaussiana} = \int a \cdot \exp(-1/(2 \cdot \sigma^2) \cdot (x - \mu)^2) = \sqrt{2 \cdot \pi} \cdot a \cdot \sigma$$

3. Representamos $\log(\text{Area})$ vs espesor absorbente, la pendiente será el coeficiente de atenuación lineal μ
4. Calculamos la sección eficaz

In [10]: *#Cargamos todos los espectros corregidos por el fondo*

```
espectro_Cesio2mmAl = ascii.read('/home/davsan06/Documentos/PrácticasASTROPARTÍCULAS/1
espectro_Cesio2mmAl = espectro_Cesio2mmAl['0'] - background['0']

espectro_Cesio4mmAl = ascii.read('/home/davsan06/Documentos/PrácticasASTROPARTÍCULAS/1
espectro_Cesio4mmAl = espectro_Cesio4mmAl['0'] - background['0']

espectro_Cesio6mmAl = ascii.read('/home/davsan06/Documentos/PrácticasASTROPARTÍCULAS/1
espectro_Cesio6mmAl = espectro_Cesio6mmAl['0'] - background['0']

espectro_Cesio8mmAl = ascii.read('/home/davsan06/Documentos/PrácticasASTROPARTÍCULAS/1
espectro_Cesio8mmAl = espectro_Cesio8mmAl['0'] - background['0']
```

In [11]: *#Absorbente de aluminio 0 mm*

```
plt.figure()

plt.title('Espectro de Cs-137 -> 0 mm AL \n')

plt.plot(energias, espectro_Cesio0mmAl, label = 'Espectro')
plt.plot(energias[90:110], espectro_Cesio0mmAl[90:110], label = 'Intervalo ajustado')

plt.xlim(0,1500)

#Ajuste del fotopico

params, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func,energias[90:110] ,espectro_C
a, mu, sigma = params

plt.axvline(mu,linestyle='--', color = 'red', alpha = 0.5)
plt.axvspan(mu - sigma, mu + sigma , facecolor='g', alpha=0.1)

plt.xlabel('Energías en keV')
```

```

area_0mm = np.sqrt(2*np.pi)*a*np.abs(sigma)

plt.axvline(mu, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red', label = 'Media = {:.2f} keV'.format(mu))
plt.axvspan(mu-sigma,mu, alpha = 0.3, color = 'green', label = 'Varianza = {:.2f}'.format(sigma**2))
plt.axvspan(mu,mu+sigma, alpha = 0.3, color = 'green' )
plt.legend()

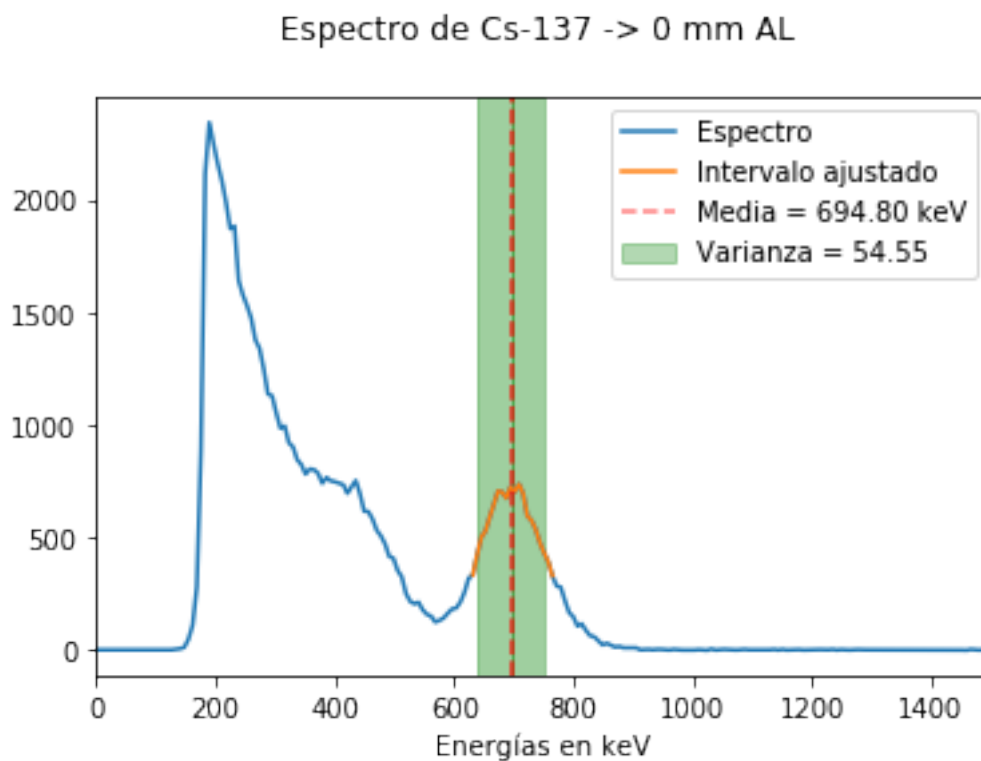
print('La energía medida para el fotopico es {:.2f} keV con una varianza de {:.2f} keV'.format(mu, sigma**2))
print('La altura del fotopico en su valor medio es a = {:.2f}'.format(a))
print('El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es {:.2f}'.format(area_0mm))

```

La energía medida para el fotopico es 694.80 keV con una varianza de 54.55 keV

La altura del fotopico en su valor medio es $a = 725.12$

El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es 99142.04



In [12]: *#Absorbente de aluminio 2 mm*

```

plt.figure()

plt.title('Espectro Cs-137 -> 2mm Al \n')

plt.plot(energias, espectro_Cesio2mmAl, label = 'Espectro')

```



```

plt.plot(energias[87:107], espectro_Cesio2mmAl[87:107], label = 'Intervalo ajustado')

plt.xlim(0,1500)

#Ajuste del fotopico

params, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func,energias[87:107] ,espectro_C
a, mu, sigma = params

plt.axvline(mu, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red', label = 'Media = {:.2f} ke
plt.axvspan(mu-sigma,mu, alpha = 0.3, color = 'green', label = 'Varianza = {:.2f}'.fo
plt.axvspan(mu,mu+sigma, alpha = 0.3, color = 'green' )
plt.legend()

plt.xlabel('Energías en keV')

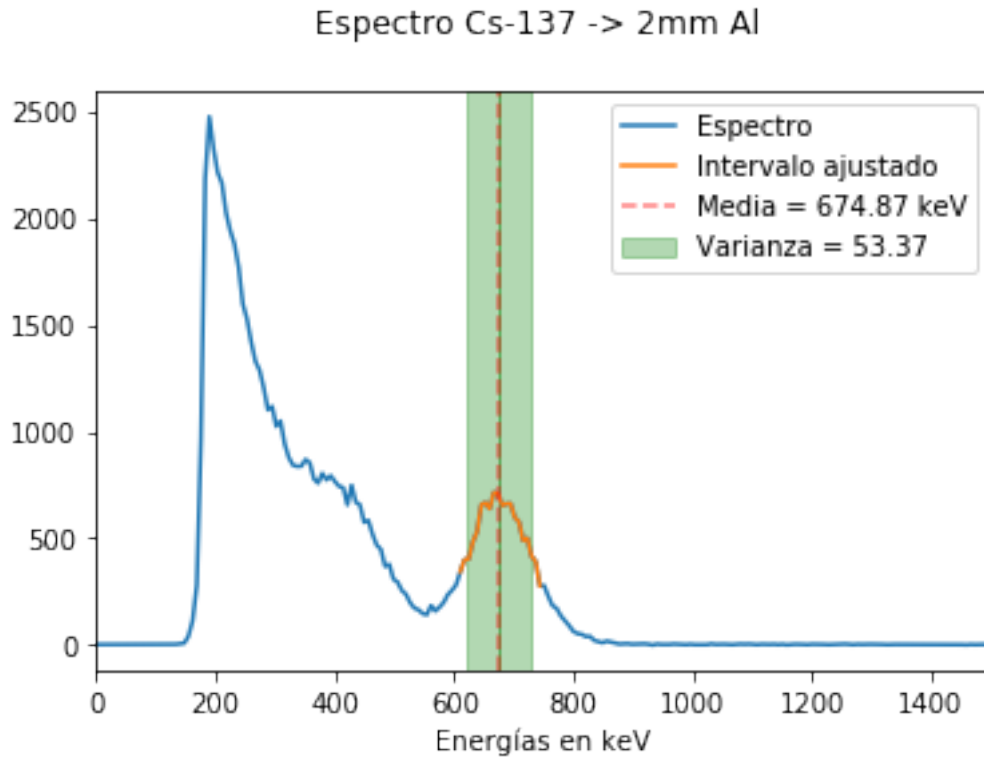
area_2mm = np.sqrt(2*np.pi)*a*np.abs(sigma)

print('La energía medida para el fotopico es {:.2f} keV con una varianza de {:.2f} ke
print('La altura del fotopico en su valor medio es a = {:.2f}'.format(a))
print('El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es {:.2f}'.format(area_2mm))

plt.savefig('FotopicoCesio2mmAl')

```

La energía medida para el fotopico es 674.87 keV con una varianza de 53.37 keV
 La altura del fotopico en su valor medio es a = 695.41
 El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es 93024.20



In [13]: *#Absorbente de aluminio 4 mm*

```
plt.figure()
```

```
plt.title('Espectro Cs-137 -> 4mm Al \n')
```

```
plt.plot(energias, espectro_Cesio4mmAl, label = 'Espectro')
```

```
plt.plot(energias[85:106], espectro_Cesio4mmAl[85:106], label = 'Intervalo ajustado')
```

```
plt.xlim(0,1500)
```

```
#Ajuste del fotopico
```

```
params, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func,energias[85:106] ,espectro_Cesio4mmAl[85:106])
mu, sigma = params
```

```
plt.axvline(mu, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red', label = 'Media = {:.2f} keV'.format(mu))
```

```
plt.axvspan(mu-sigma,mu, alpha = 0.3, color = 'green', label = 'Varianza = {:.2f}'.format(sigma**2))
```

```
plt.axvspan(mu,mu+sigma, alpha = 0.3, color = 'green' )
```

```
plt.legend()
```

```

plt.xlabel('Energías en keV')

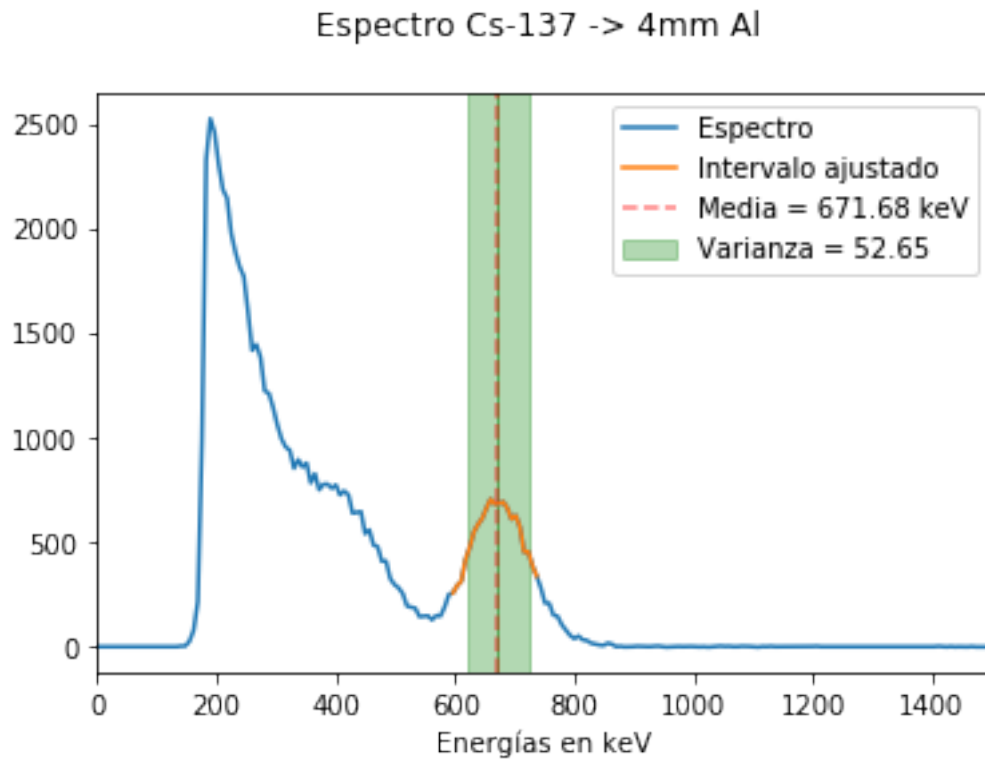
area_4mm = np.sqrt(2*np.pi)*a*np.abs(sigma)

print('La energía medida para el fotopico es {:.2f} keV con una varianza de {:.2f} keV'.format(a, sigma))
print('La altura del fotopico en su valor medio es a = {:.2f}'.format(a))
print('El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es {:.2f}'.format(area_4mm))

plt.savefig('FotopicoCesio4mmAl')

```

La energía medida para el fotopico es 671.68 keV con una varianza de 52.65 keV
 La altura del fotopico en su valor medio es a = 702.71
 El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es 92737.51



In [14]: *#Absorbente de aluminio 6 mm*

```

plt.figure()

plt.title('Espectro Cs-137 -> 6mm Al \n')

plt.plot(energias, espectro_Cesio6mmAl, label = 'Espectro')
plt.plot(energias[85:104], espectro_Cesio6mmAl[85:104], label = 'Intervalo ajustado')

```

```

plt.xlim(0,1500)

#Ajuste del fotopico

params, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func,energias[85:104] ,espectro_Ce
a, mu, sigma = params

plt.axvline(mu, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red', label = 'Media = {:.2f} keV')
plt.axvspan(mu-sigma,mu, alpha = 0.3, color = 'green', label = 'Varianza = {:.2f} keV')
plt.axvspan(mu,mu+sigma, alpha = 0.3, color = 'green' )
plt.legend()

plt.xlabel('Energías en keV')

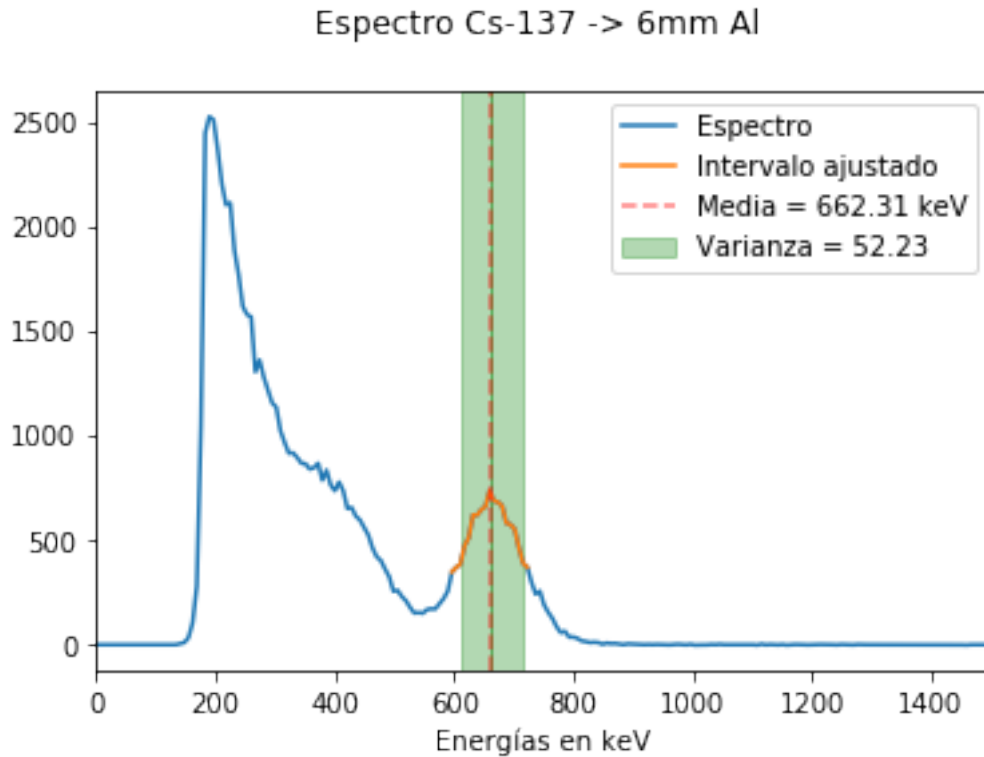
area_6mm = np.sqrt(2*np.pi)*a*np.abs(sigma)

print('La energía medida para el fotopico es {:.2f} keV con una varianza de {:.2f} keV')
print('La altura del fotopico en su valor medio es a = {:.2f}'.format(a))
print('El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es {:.2f}'.format(area_6mm))

plt.savefig('FotopicoCesio6mmAl')

```

La energía medida para el fotopico es 662.31 keV con una varianza de 52.23 keV
La altura del fotopico en su valor medio es a = 694.82
El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es 90960.26



In [15]: *#Absorbente de aluminio 8 mm*

```
plt.figure()
```

```
plt.title('Espectro Cs-137 -> 8mm Al \n')
```

```
plt.plot(energias, espectro_Cesio8mmAl, label = 'Espectro')
```

```
plt.plot(energias[85:104], espectro_Cesio8mmAl[85:104], label = 'Intervalo ajustado')
```

```
plt.xlim(0,1500)
```

```
#Ajuste del fotopico
```

```
params, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func,energias[85:104] ,espectro_Cesio8mmAl[85:104])
a, mu, sigma = params
```

```
plt.axvline(mu, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red', label = 'Media = {:.2f} keV'.format(mu))
```

```
plt.axvspan(mu-sigma,mu, alpha = 0.3, color = 'green', label = 'Varianza = {:.2f}'.format(sigma**2))
```

```
plt.axvspan(mu,mu+sigma, alpha = 0.3, color = 'green' )
```

```
plt.legend()
```

```
plt.xlabel('Energías en keV')

area_8mm = np.sqrt(2*np.pi)*a*np.abs(sigma)

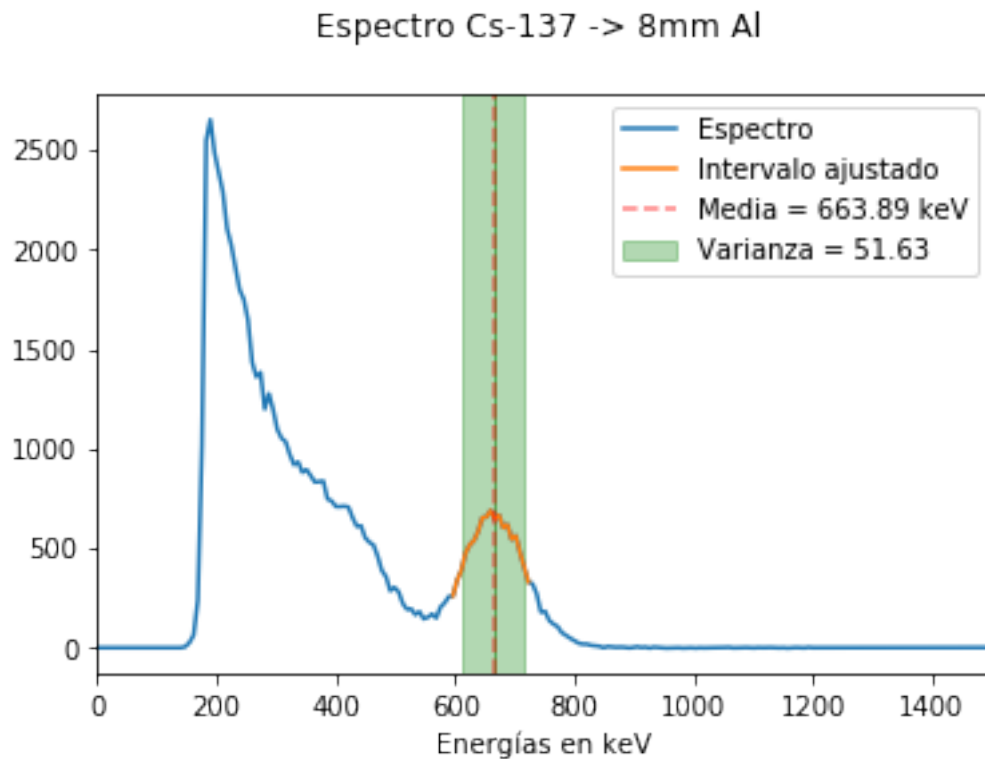
print('La energía medida para el fotopico es {:.2f} keV con una varianza de {:.2f} keV')
print('La altura del fotopico en su valor medio es a = {:.2f}'.format(a))
print('El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es {:.2f}'.format(area_8mm))

plt.savefig('FotopicoCesio8mmAl')
```

La energía medida para el fotopico es 663.89 keV con una varianza de 51.63 keV

La altura del fotopico en su valor medio es a = 673.73

El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es 87191.10



In [16]: *#Cargamos la función con la que vamos a ajustar los datos con una recta*

```
def recta(x, x0, pte):
    return x0 + pte*x
```

```
In [17]: espesor = np.array([0,2,4,6,8])
        area = np.log(np.array([area_0mm, area_2mm, area_4mm, area_6mm, area_8mm]))
```

```

x = np.linspace(0,8, 1000)

params, params_covariance = optimize.curve_fit(recta,espesor ,area, p0=[100000, 2000],
x0, pte = params

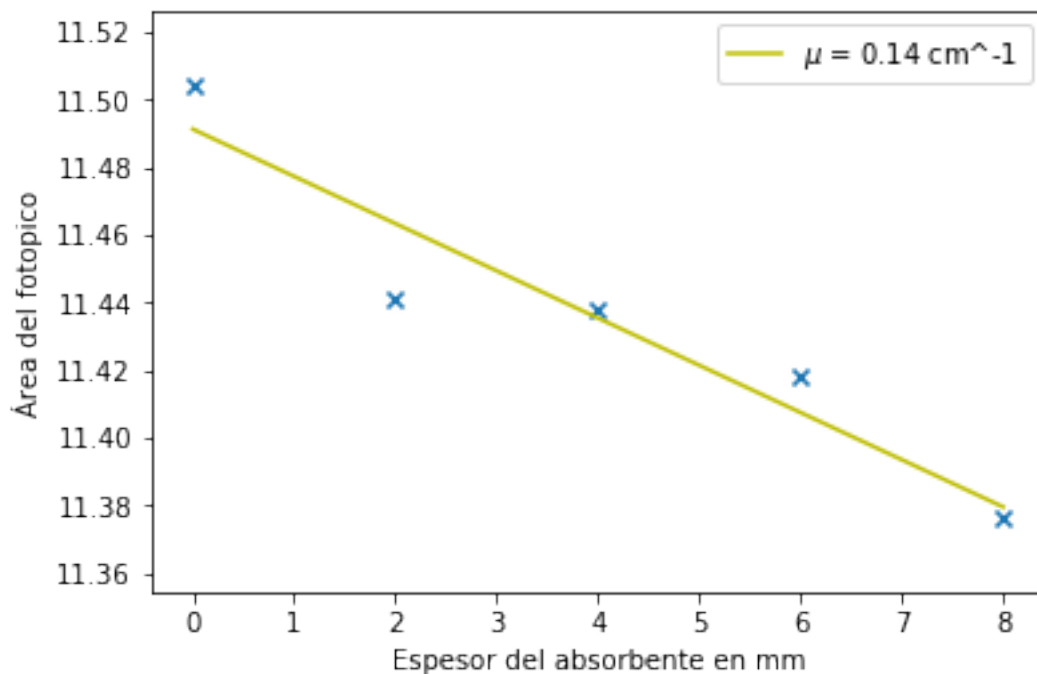
plt.scatter(espesor, area, marker= 'x')
plt.plot(x, x0 + pte*x , 'y', label = '$\mu$ = {:.2f} cm-1'.format(-pte*10))
plt.legend()

plt.xlabel('Espesor del absorbente en mm')
plt.ylabel('Área del fotopico')
print('El coeficiente de atenuación lineal (pte) es {:.2f} cm-1'.format(-pte*10))

plt.savefig('AtenuacionAluminio')

```

El coeficiente de atenuación lineal (pte) es 0.14 cm⁻¹



La sección eficaz en este regimen de energías la obtendremos como

$$\sigma = \mu/N$$

donde μ es el coeficiente de atenuación lineal $I = I_0 \exp(-\mu x)$ que se obtiene como la pendiente de la recta y N es el número de átomos por unidad de volumen (tiene unidad de cm⁻³) y se ha calculado para el ALUMINIO como

densidad del aluminio = 2.7 g/cm³
 masa atómica del aluminio = 26.9815 g/mol
 Numero de Avogadro = 6.022*10²³
 $N = 2.7 \times 6.022 \times 10^{23} / 26.9815 = 6.02613 \times 10^{22}$ atomos/cm³

```

In [18]: N = 2.76*(6.022*10**23)/26.9815
         print(N)
         seccion_eficaz = 10*np.abs(pte)/N

         print('La sección eficaz en este rango de energías es {:.30f} cm^2'.format(seccion_eficaz))
6.160042992420733e+22
La sección eficaz en este rango de energías es 0.00000000000000000000002267351 cm^2

```

1 Absorbente: PLOMO

```

In [33]: #Carga de los datos

espectro_Cesio0mmPb = ascii.read('/home/davsan06/Documentos/PrácticasASTROPARTÍCULAS/1')
espectro_Cesio0mmPb = espectro_Cesio0mmPb['0'] - background['0']

espectro_Cesio2mmPb = ascii.read('/home/davsan06/Documentos/PrácticasASTROPARTÍCULAS/1')
espectro_Cesio2mmPb = espectro_Cesio2mmPb['0'] - background['0']

espectro_Cesio4mmPb = ascii.read('/home/davsan06/Documentos/PrácticasASTROPARTÍCULAS/1')
espectro_Cesio4mmPb = espectro_Cesio4mmPb['0'] - background['0']

espectro_Cesio6mmPb = ascii.read('/home/davsan06/Documentos/PrácticasASTROPARTÍCULAS/1')
espectro_Cesio6mmPb = espectro_Cesio6mmPb['0'] - background['0']

espectro_Cesio8mmPb = ascii.read('/home/davsan06/Documentos/PrácticasASTROPARTÍCULAS/1')
espectro_Cesio8mmPb = espectro_Cesio8mmPb['0'] - background['0']

In [37]: #Absorbente de plomo 0 mm

plt.figure()

plt.title('Espectro de Cs-137 -> 0 mm Pb \n')

plt.plot(energias, espectro_Cesio0mmPb, label = 'Espectro')
plt.plot(energias[90:110], espectro_Cesio0mmPb[90:110], label = 'Intervalo ajustado')

plt.xlim(0,1500)

#Ajuste del fotopico

params, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func,energias[90:110] ,espectro_C

```



```

a, mu, sigma = params

plt.axvline(mu, linestyle='--', color = 'red', alpha = 0.5)
plt.axvspan(mu - sigma, mu + sigma , facecolor='g', alpha=0.1)

plt.xlabel('Energías en keV')

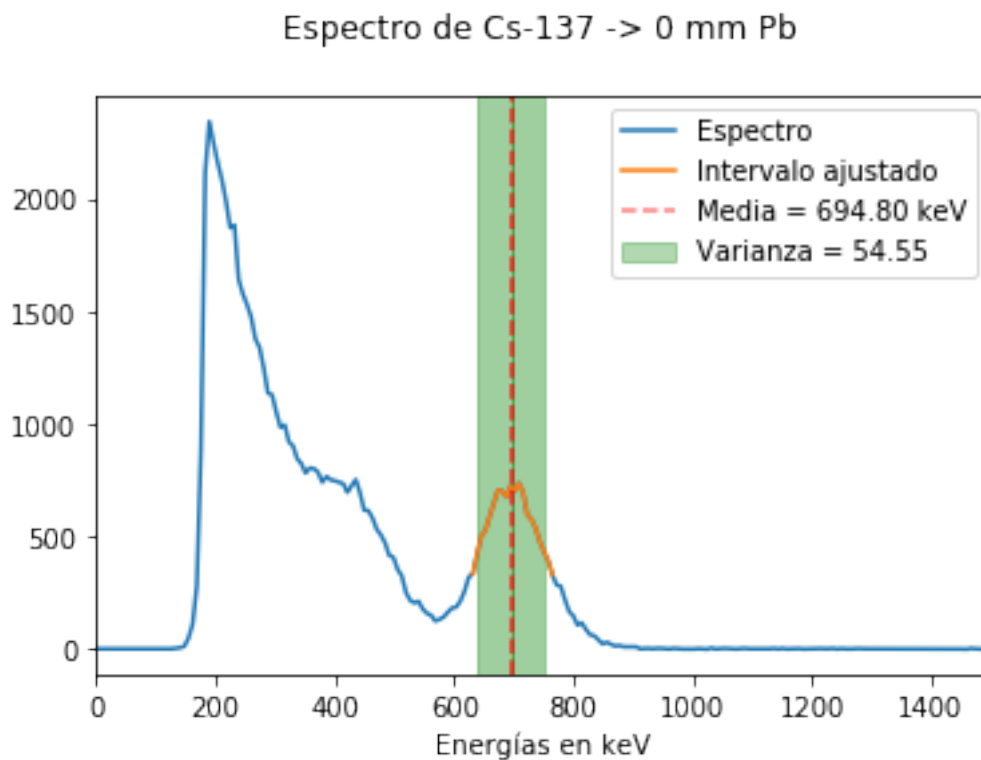
area_0mm_Pb = np.sqrt(2*np.pi)*a*np.abs(sigma)

plt.axvline(mu, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red', label = 'Media = {:.2f} keV'.format(mu))
plt.axvspan(mu-sigma,mu, alpha = 0.3, color = 'green', label = 'Varianza = {:.2f} keV'.format(sigma))
plt.axvspan(mu,mu+sigma, alpha = 0.3, color = 'green' )
plt.legend()

print('La energía medida para el fotopico es {:.2f} keV con una varianza de {:.2f} keV'.format(mu, sigma))
print('La altura del fotopico en su valor medio es a = {:.2f}'.format(a))
print('El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es {:.2f}'.format(area_0mm_Pb))

```

La energía medida para el fotopico es 694.80 keV con una varianza de 54.55 keV
La altura del fotopico en su valor medio es $a = 725.12$
El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es 99142.04



```
In [49]: #Absorbente de plomo 2 mm
```

```
plt.figure()

plt.title('Espectro Cs-137 -> 2mm Pb \n')

plt.plot(energias, espectro_Cesio2mmPb, label = 'Espectro')
plt.plot(energias[89:102], espectro_Cesio2mmPb[89:102], label = 'Intervalo ajustado')

plt.xlim(0,1500)

#Ajuste del fotopico

params, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func,energias[89:102] ,espectro_C
a, mu, sigma = params

plt.axvline(mu, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red', label = 'Media = {:.2f} keV')
plt.axvspan(mu-sigma,mu, alpha = 0.3, color = 'green', label = 'Varianza = {:.2f}'.format(sigma))
plt.axvspan(mu,mu+sigma, alpha = 0.3, color = 'green' )
plt.legend()

plt.xlabel('Energías en keV')

area_2mm_Pb = np.sqrt(2*np.pi)*a*np.abs(sigma)

print('La energía medida para el fotopico es {:.2f} keV con una varianza de {:.2f} keV')
print('La altura del fotopico en su valor medio es a = {:.2f}'.format(a))
print('El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es {:.2f}'.format(area_2mm_Pb))

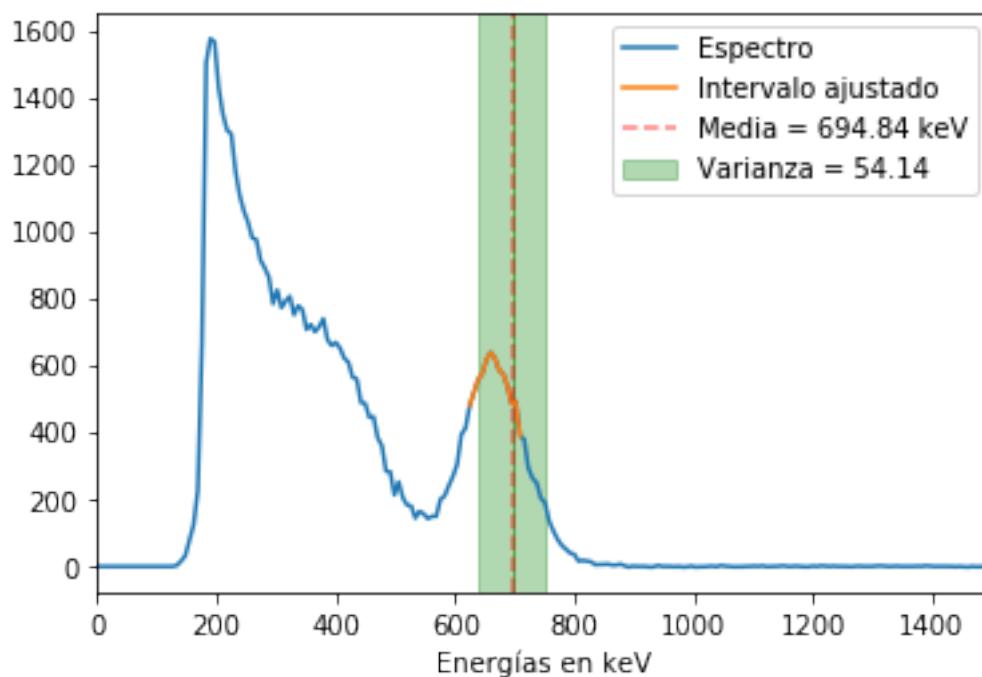
plt.savefig('FotopicoCesio2mmPb')
```

La energía medida para el fotopico es 694.84 keV con una varianza de 54.14 keV

La altura del fotopico en su valor medio es a = 729.01

El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es 98931.44

Espectro Cs-137 -> 2mm Pb



In [52]: *#Absorbente de plomo 4 mm*

```
plt.figure()
```

```
plt.title('Espectro Cs-137 -> 4mm Pb \n')
```

```
plt.plot(energias, espectro_Cesio4mmPb, label = 'Espectro')
```

```
plt.plot(energias[87:102], espectro_Cesio4mmPb[87:102], label = 'Intervalo ajustado')
```

```
plt.xlim(0,1500)
```

```
#Ajuste del fotopico
```

```
params, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func,energias[87:102] ,espectro_Cesio4mmPb[87:102])
mu, sigma = params
```

```
plt.axvline(mu, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red', label = 'Media = {:.2f} keV'.format(mu))
```

```
plt.axvspan(mu-sigma,mu, alpha = 0.3, color = 'green', label = 'Varianza = {:.2f} keV'.format(sigma))
```

```
plt.axvspan(mu,mu+sigma, alpha = 0.3, color = 'green' )
```

```
plt.legend()
```

```

plt.xlabel('Energías en keV')

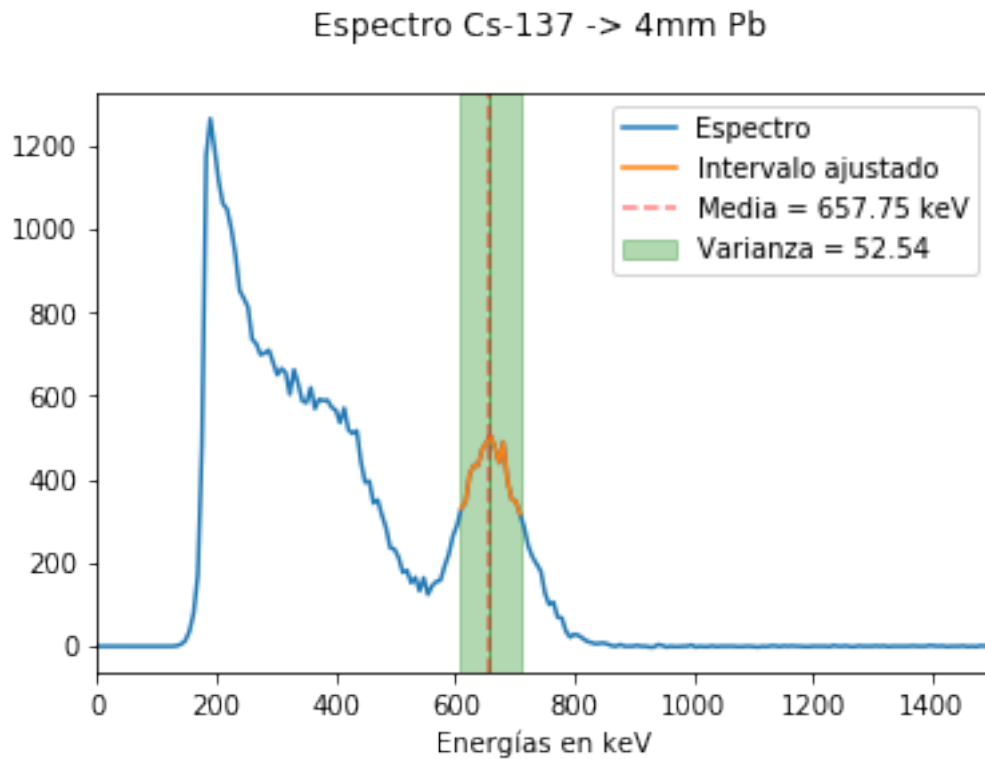
area_4mm_Pb = np.sqrt(2*np.pi)*a*np.abs(sigma)

print('La energía medida para el fotopico es {:.2f} keV con una varianza de {:.2f} keV')
print('La altura del fotopico en su valor medio es a = {:.2f}'.format(a))
print('El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es {:.2f}'.format(area_4mm_Pb))

plt.savefig('FotopicoCesio4mmPb')

```

La energía medida para el fotopico es 657.75 keV con una varianza de 52.54 keV
La altura del fotopico en su valor medio es a = 486.80
El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es 64114.65



In [56]: *#Absorbente de plomo 6 mm*

```

plt.figure()

plt.title('Espectro Cs-137 -> 6mm Pb \n')

plt.plot(energias, espectro_Cesio6mmPb, label = 'Espectro')
plt.plot(energias[85:100], espectro_Cesio6mmPb[85:100], label = 'Intervalo ajustado')

```

```

plt.xlim(0,1500)

#Ajuste del fotopico

params, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func,energias[85:100] ,espectro_Ce
a, mu, sigma = params

plt.axvline(mu, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red', label = 'Media = {:.2f} keV')
plt.axvspan(mu-sigma,mu, alpha = 0.3, color = 'green', label = 'Varianza = {:.2f} keV')
plt.axvspan(mu,mu+sigma, alpha = 0.3, color = 'green' )
plt.legend()

plt.xlabel('Energías en keV')

area_6mm_Pb = np.sqrt(2*np.pi)*a*np.abs(sigma)

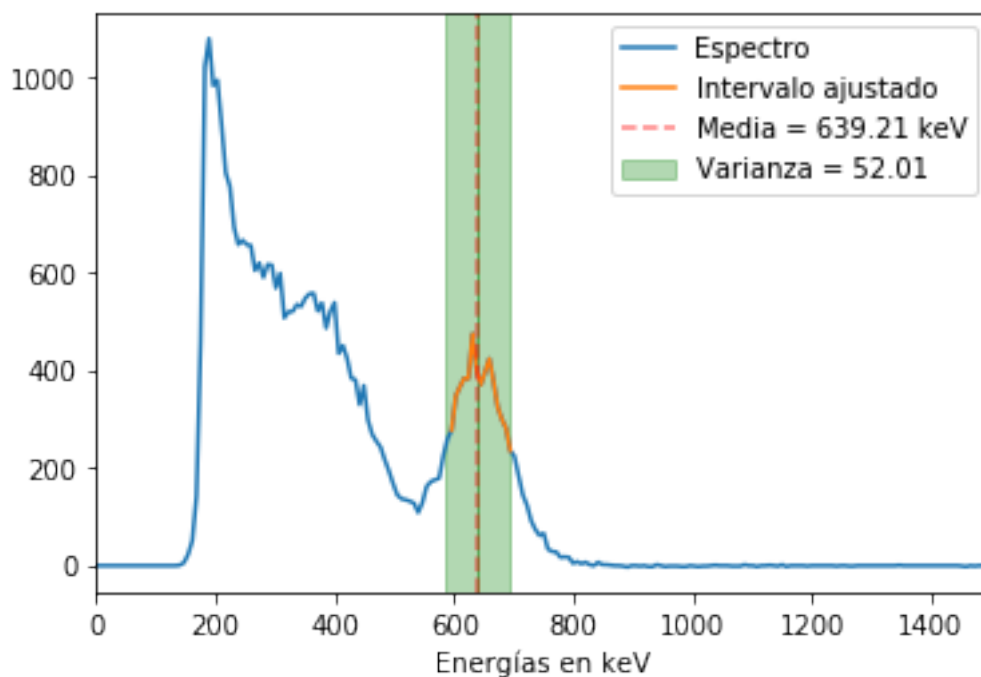
print('La energía medida para el fotopico es {:.2f} keV con una varianza de {:.2f} keV')
print('La altura del fotopico en su valor medio es a = {:.2f}'.format(a))
print('El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es {:.2f}'.format(area_6mm_Pb))

plt.savefig('FotopicoCesio6mmPb')

```

La energía medida para el fotopico es 639.21 keV con una varianza de 52.01 keV
 La altura del fotopico en su valor medio es a = 420.01
 El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es 54758.08

Espectro Cs-137 -> 6mm Pb



In [59]: *#Absorbente de plomo 8 mm*

```
plt.figure()
```

```
plt.title('Espectro Cs-137 -> 8mm Pb \n')
```

```
plt.plot(energias, espectro_Cesio8mmPb, label = 'Espectro')
```

```
plt.plot(energias[85:100], espectro_Cesio8mmPb[85:100], label = 'Intervalo ajustado')
```

```
plt.xlim(0,1500)
```

```
#Ajuste del fotopico
```

```
params, params_covariance = optimize.curve_fit(test_func,energias[85:100] ,espectro_Cesio8mmPb[85:100])
a, mu, sigma = params
```

```
plt.axvline(mu, alpha = 0.5, linestyle='--', color = 'red', label = 'Media = {:.2f} keV'.format(mu))
```

```
plt.axvspan(mu-sigma,mu, alpha = 0.3, color = 'green', label = 'Varianza = {:.2f} keV'.format(sigma))
```

```
plt.axvspan(mu,mu+sigma, alpha = 0.3, color = 'green' )
```

```
plt.legend()
```

```

plt.xlabel('Energías en keV')

area_8mm_Pb = np.sqrt(2*np.pi)*a*np.abs(sigma)

print('La energía medida para el fotopico es {:.2f} keV con una varianza de {:.2f} keV')
print('La altura del fotopico en su valor medio es a = {:.2f}'.format(a))
print('El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es {:.2f}'.format(area_8mm_Pb))

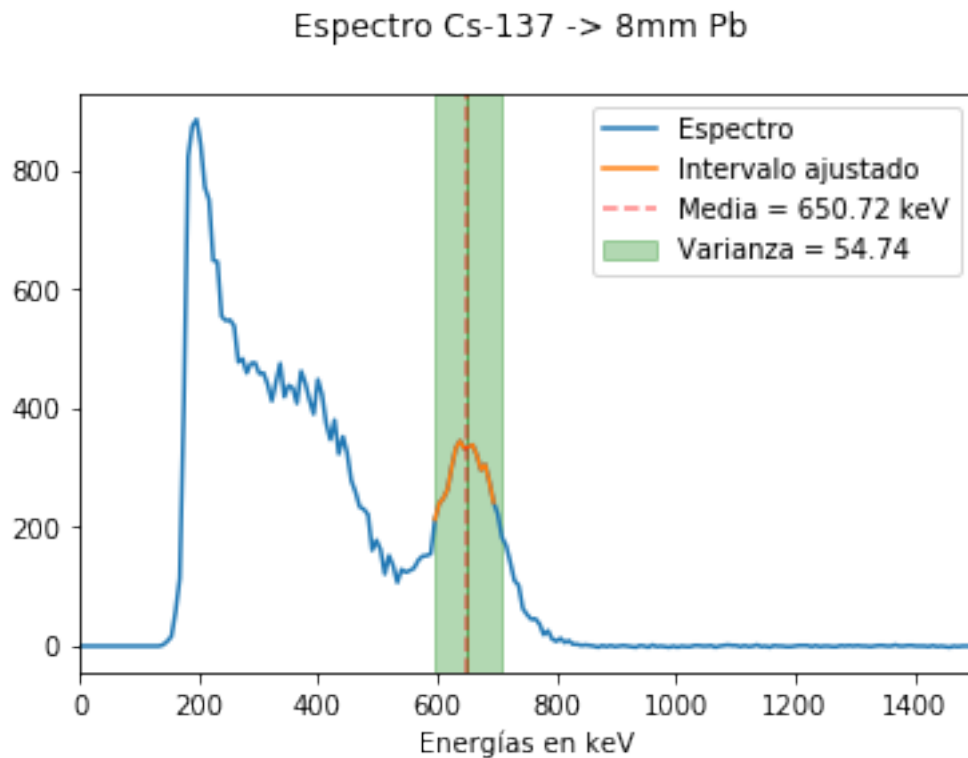
plt.savefig('FotopicoCesio8mmPb')

```

La energía medida para el fotopico es 650.72 keV con una varianza de 54.74 keV

La altura del fotopico en su valor medio es $a = 339.07$

El área de la gaussiana que ajusta el fotopico es 46527.16



```

In [60]: espesor = np.array([0,2,4,6,8])
area_Pb = np.log(np.array([area_0mm_Pb, area_2mm_Pb, area_4mm_Pb, area_6mm_Pb, area_8mm_Pb]))
x = np.linspace(0,8, 1000)

params, params_covariance = optimize.curve_fit(recta,espesor ,area_Pb, p0=[100000, 200000])
x0, pte = params

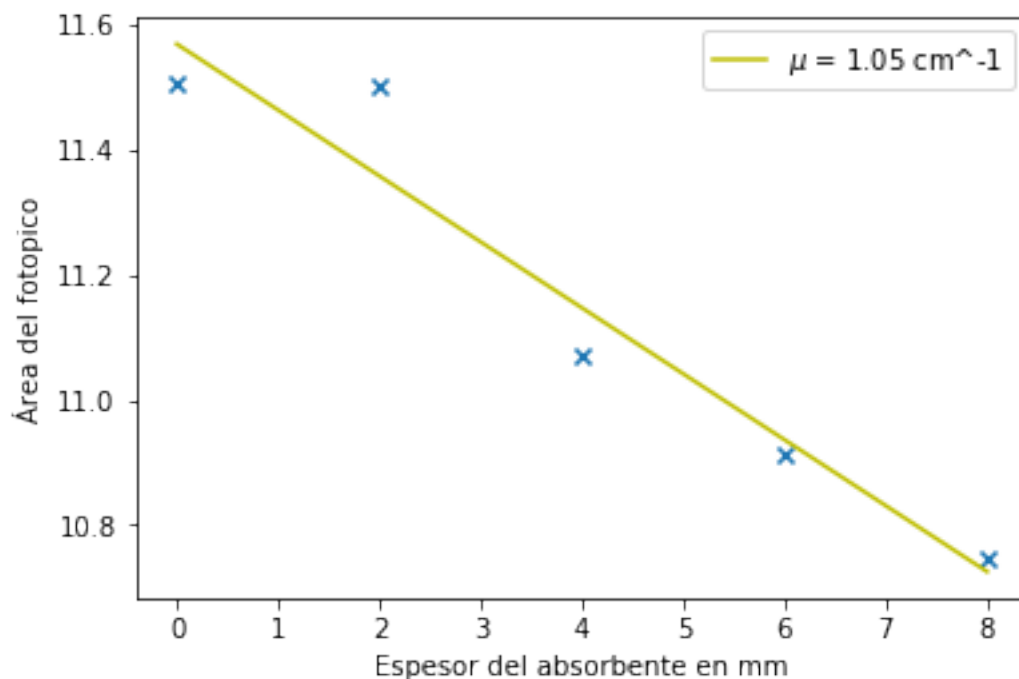
```

```
plt.scatter(espesor, area_Pb, marker= 'x')
plt.plot(x, x0 + pte*x , 'y', label = '$\mu$ = {:.2f} cm-1'.format(-pte*10))
plt.legend()

plt.xlabel('Espesor del absorbente en mm')
plt.ylabel('Área del fotopico')
print('El coeficiente de atenuación lineal (pte) es {:.2f} cm-1'.format(-pte*10))

plt.savefig('AtenuacionPlomo')
```

El coeficiente de atenuación lineal (pte) es 1.05 cm⁻¹



La sección eficaz en este regimen de energías la obtendremos como

$$\sigma = \mu / N$$

donde μ es el coeficiente de atenuación lineal $I = I_0 \exp(-\mu x)$ que se obtiene como la pendiente de la recta y N es el número de átomos por unidad de volumen (tiene unidad de cm⁻³) y se ha calculado para el PLOMO como

densidad del aluminio = 11.3 g/cm³
masa atómica del aluminio = 207.19 g/mol
Numero de Avogadro = 6.022*10²³

```
In [66]: N_Pb = 11.3*(6.022*10**23)/207.19
N_Pb
```