



*Facultad
de
Ciencias*

**EXTENSIÓN DEL MÉTODO DE DATACIÓN
BASADO EN Pb-210 AL ANÁLISIS DE LA
CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR
URANIO**

**(Extension of Lead-210 method of dating to
the analysis of ground uranium
contamination)**

Trabajo de Fin de Grado
para acceder al

GRADO EN FÍSICA

Autor: Agustín Cerezo Fernández

Director: Ángel Mañanes Pérez

Co-Director: Juan Remondo Tejerina

Octubre – 2017

Índice

Resumen	3
1. Introducción.....	5
1.1. Uso de técnicas radiométricas para datación	5
1.2. Objetivos	5
1.3. Localización Geográfica	5
1.4. Procedimiento	6
1.5. Cadenas radiactivas	7
1.6. Radiación Beta	12
1.7. Radiación Alfa	13
2. Detectores HPGe para radiación gamma.....	14
2.1. Fenómenos de interacción radiación gamma con la materia	14
2.2. Detector Semiconductor HPGe	15
2.3. Espectroscopía Gamma con detector de Ge.....	17
3. Datación de Sedimentos	20
3.1. Trazadores	20
3.2. Modelos de Datación usando ^{210}Pb	22
4. Detección Contaminación por Uranio	26
5. Método experimental.....	30
5.1. Calibrado en energía y en eficiencia del detector HPGe.....	30
5.2. Medición Sedimentos.....	31
5.3. Medición de la Densidad de Sedimentos	31
6. Resultados.....	34
6.1. Calibrados	34
6.2. Actividad vs Profundidad.....	35
6.3. Pico 185.72 keV	38
6.4. Datación CIC.....	41
6.5. Datación CRS.....	42
6.6. El pico de 661.62 keV; ^{137}Cs	47
7. Conclusiones.....	45
Bibliografía.....	48
Apéndice I.....	50
Apéndice II	77

RESUMEN

Objetivo principal de este trabajo ha sido la datación de un testigo de 50 cm de profundidad de sedimentos extraído en el lago San Vicente (Argentina) en el año 2016 usando el método del ^{210}Pb en exceso. Al analizar las medidas realizadas se detectó la posible contaminación por Uranio natural. En consecuencia se desarrolló un método para analizar cuantitativamente la presencia de dicha contaminación en los sedimentos.

La datación de los sedimentos se ha realizado haciendo uso de medidas de la actividad del isótopo ^{210}Pb en cada capa de sedimento y considerando dos modelos para el análisis de los datos: CIC (Concentración Inicial Constante) y CRS (Velocidad de Aporte Constante), utilizando en ambos el ^{210}Pb en exceso. En el trabajo se analiza tanto la relación de la edad de los sedimento con la profundidad como la evolución de la velocidad de sedimentación con la edad de los sedimentos. Las velocidades de sedimentación encontradas son compatibles con las descritas en la bibliografía, al igual que la datación obtenida. También se ha detectado en capas superficiales la presencia de ^{137}Cs y se discute la correlación concentración de ^{137}Cs y la edad de los sedimentos.

La presencia de uranio como contaminación en los sedimentos se ha analizado utilizando la emisión gamma de los primeros descendientes de la cadena natural de ^{238}U y de ^{235}U . Los datos estudiados muestran que en un pasado cercano existió un aporte de uranio a los sedimentos cuyo origen no se ha conseguido aclarar, y que la proporción $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$ en las muestras analizadas es la esperada en el uranio natural.

Palabras clave: *Análisis de sedimentos, método del ^{210}Pb en exceso, uranio natural, ^{238}U , ^{137}Cs , contaminación por uranio, espectroscopía gamma.*

ABSTRACT

The principal objective of this work has been the dating of a 50 cm deep core extracted in the lake of San Vicente (Argentina) in 2016 using the ^{210}Pb method. During the analysis of the data it was detected a possible contamination by natural uranium. In consequence a method was developed in order to analyze the uranium contamination in the sediments.

The dating of sediments has been performed using two different models: CIC (Constant Initial Concentration) and CRS (Constant Rate of Supply), which, in both cases, rely on the measurements of the ^{210}Pb concentration at the different depths of the core. In this work it is established the relationship between the depth of the sediments and the age and sedimentation rate. The sedimentation ratios obtained are compatible with the sedimentation rates in the bibliography. Also was detected ^{137}Cs in the surface sediments discussing the correlation between sediment age - ^{137}Cs concentration.

The presence of uranium as contamination in the sediments was analyzed using the gamma emission from the firsts descendants from ^{238}U and ^{235}U natural chains. The analyzed data show that in a near past there was an uranium input in the sediments which origin has not been get clarified and that the ratio of $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$ is the expected for natural uranium.

Key words: *Sediment analysis, excess ^{210}Pb method, natural uranium, ^{238}U , ^{137}Cs , uranium contamination, gamma spectroscopy.*

Agradecimientos

Agradecer el apoyo y la ayuda constantes de mi director de Trabajo Fin de Grado, don Ángel Mañanes Pérez, durante estos largos meses y a la ayuda prestada por parte de mi codirector, don Juan Remondo Tejerina. También agradecer la siempre predisposición de ayudar por parte de Martín López en el laboratorio. No irme sin agradecer el gran apoyo que han supuesto mis padres durante estos cuatro años de carrera y, sobre todo, en este último tramo del camino.

1. Introducción

1.1. Uso de técnicas radiométricas para datación

La datación de sedimentos por medio de técnicas radiométricas es un método aplicado para conseguir datar la edad de rocas o sedimentos [7].

La datación de sedimentos es de un gran interés debido a que permite obtener información sobre posibles impactos medioambientales de origen humano (rellenos artificiales, excavaciones, contaminación...) [2] o natural (época de grandes tormentas, corrimientos de tierra...).

En concreto, los datos en este trabajo corresponden a un testigo cilíndrico de sedimentos de 50 cm de profundidad y 10 cm de diámetro tomado en 2016 en la zona lacustre del lago de San Vicente, en Argentina, para poder estudiar la variación de las tasas de sedimentación y poderlas correlacionar con eventos naturales y/o antrópicos.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto ha sido la datación de los sedimentos por medio de técnicas radiométricas utilizando como trazador geológico el isótopo radiactivo emisor gamma ^{210}Pb , que es uno de los elementos de la cadena radiactiva natural del ^{238}U . Los detalles del método de datación se presentan en la Sección 3.

Como añadido a este análisis, se ha estudiado la posibilidad de presencia de uranio como contaminante en el testigo de sedimento extraído en el lago de San Vicente (Argentina).

La medida de la actividad específica (Bq / kg) de los radioisótopos necesarios para la datación por medio del método del ^{210}Pb se ha realizado usando un detector semiconductor de alta resolución en energía HPGe (Ge de Alta Pureza).

Un objetivo principal de nuestro trabajo ha sido el desarrollo de códigos MATLAB que nos permitan leer directamente los ficheros de datos generados por el sistema Detector HPGe - Analizador Multicanal y extraer de los mismos los datos de los isótopos de interés para su posterior análisis. Los programas realizados se presentan y comentan en los Apéndices de esta memoria.

1.3. Localización Geográfica

La extracción del testigo de sedimentos realizado en 2016 fue llevada a cabo en la Cañada de Almada, perteneciente al complejo de San Vicente [11], Argentina. A continuación muestro dos fotografías localizando el lugar de estudio.

Esta zona ha sufrido actividad humana en sus inmediaciones durante largo tiempo [I], [II], [III], [IV], hasta el punto de llegar a intentar ser utilizado como cementerio nuclear en 1992, propuesta impedida por la población en dicho año.

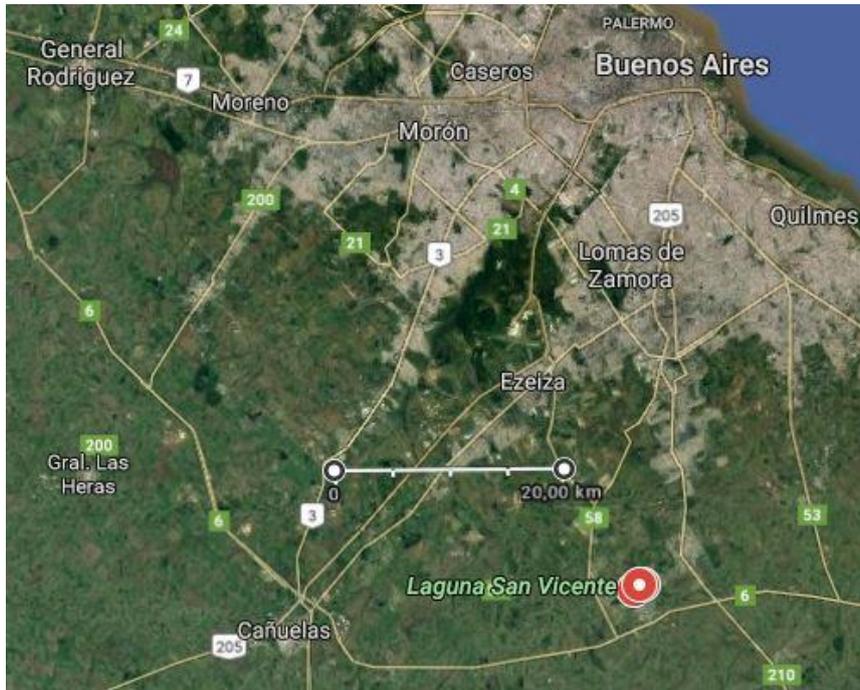


Fig. 1. Imagen aérea de la zona de Argentina donde se ha tomado el testigo. Podemos localizar la Laguna de San Vicente al sur de Buenos Aires (Fotografías procedentes de Google Maps (imágenes capturadas el 21/09/2017)).

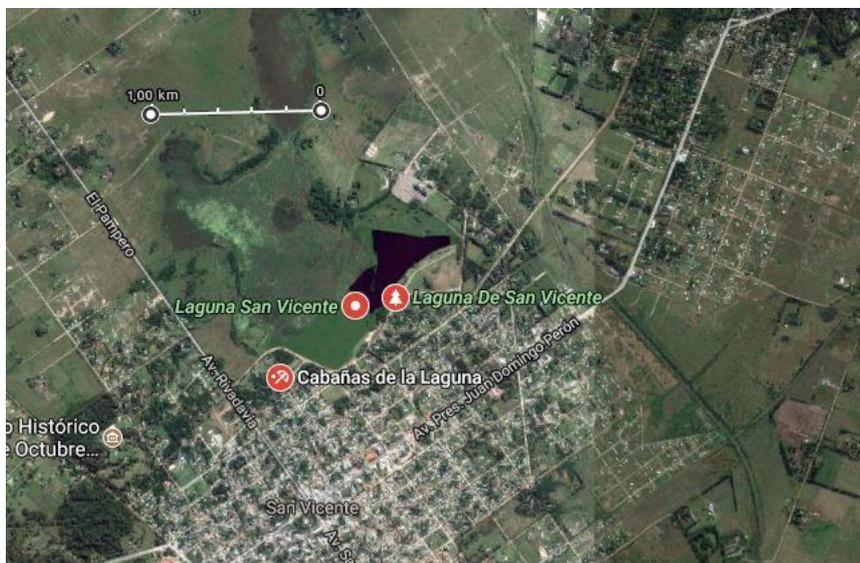


Fig. 2. Localidad de San Vicente, Argentina, junto a la Laguna de San Vicente (Fotografías procedentes de Google Maps (imágenes capturadas el 21/09/2017)).

1.4. Procedimiento

El procedimiento consistió en la extracción en 2016 de un testigo de 50 cm de profundidad y 10 cm de diámetro, que fue dividido en secciones de 1 cm. Durante el corte hubo secciones que se rompieron, perdiendo sedimento, hecho tenido en cuenta en el programa informático que hemos desarrollado para el tratamiento de datos. Aun así, en

general podemos decir que, para cada profundidad, las muestras estaban constituidas por una masa de 50 g. Finalmente se midieron 29 muestras correspondientes a un total de 45 cm de profundidad.

Tras dicho corte del testigo en muestras de 1 cm de espesor se procedió al secado durante 24 horas a 65 °C, se molieron a grano fino y se envasaron en recipientes cilíndricos de doble tapa de 100 ml de volumen, convenientemente etiquetados (ver Figura 15). Los recipientes se mantuvieron sellados durante, al menos, 30 días antes de proceder a las medidas con motivo de garantizar que se alcanza un equilibrio entre la emisión de ^{222}Rn y la deposición de sus descendientes dentro del recipiente. Tras esto se procedió a introducir uno a uno los recipientes en el detector de HPGe semiconductor refrigerado con nitrógeno líquido y blindado, respecto a la radiación ambiental, con un blindaje pasivo de Pb-Cd-Cu, utilizando 24 horas para la medida de cada sección. Algunos ejemplos de los ficheros de resultados se presentan en el Apéndice II. Estos ficheros de datos fueron el material utilizado para realizar el análisis presentado en esta memoria.

1.5. Cadenas radiactivas

Las cadenas radiactivas estudiadas en este trabajo son dos: La cadena radiactiva del ^{238}U y la cadena del ^{235}U .

En la naturaleza y bajo ciertas condiciones que discutiremos, las cadenas de estos elementos se encuentran en equilibrio secular, esto es que la actividad (desintegraciones por unidad de tiempo) de cualquier isótopo de la cadena es la misma.

Para que esto sea posible, se han de cumplir algunos requisitos:

- a) Que el periodo de semidesintegración, $T_{1/2}$, del primer elemento de la cadena radiactiva (al que llamaremos padre) sea mucho mayor que el de cualquiera de los elementos de la cadena, o lo que es lo mismo, que la constante de desintegración, λ , del padre sea mucho menor que la de cualquiera de sus descendientes ($T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$).
- b) Que haya transcurrido un tiempo lo suficientemente largo para que haya el suficiente número de productos del decaimiento presentes en el sedimento; tiempo que debe ser del orden o mayor que el periodo más largo perteneciente a uno de los descendientes.
- c) El sistema (mineral o sedimento) debe ser cerrado respecto de todos los elementos de la cadena. Es decir, que no se produzca la desaparición de ninguno de los elementos químicos formados en las desintegraciones radiactivas. Esta condición suele ser más difícil de conseguir de forma completa.

El concepto de equilibrio secular puede ser explicado de la siguiente forma:

Supongamos que tenemos tres elementos radiactivos A, B y C de la misma cadena radiactiva, sucediendo que A decae a B y B a un elemento C que va a ser estable en este ejemplo.

De esta forma, podemos decir que A sufre una pérdida:

$$\frac{dN_A(t)}{dt} = -\lambda_A t \quad (1)$$

Ecuación que al resolver resulta:

$$N_A(t) = N_A(0)e^{-\lambda_A t} \quad (2)$$

El elemento B, también radiactivo, se ve alimentado por la pérdida de A, a la vez que sufre sus propias pérdidas, de modo que.

$$\frac{dN_B(t)}{dt} = \lambda_A t - \lambda_B t \quad (3)$$

Comparando con la ecuación (1), se espera que el comportamiento del elemento B pueda ser explicado de igual forma con una ecuación como:

$$N_B(t) = f(t)e^{-\lambda_B t} \quad (4)$$

Cumpléndose la condición $N_B(0) = 0$, llegamos a:

$$N_B(t) = \frac{\lambda_A}{\lambda_A - \lambda_B} N_A(0) (e^{-\lambda_B t} - e^{-\lambda_A t}) \quad (5)$$

El elemento C, por su parte, es alimentado únicamente por B, de modo que:

$$\frac{dN_C(t)}{dt} = \lambda_B N_B(t) = \frac{\lambda_B \lambda_A}{\lambda_A - \lambda_B} N_A(0) (e^{-\lambda_B t} - e^{-\lambda_A t}) \quad (6)$$

Donde al resolver, se obtiene:

$$N_C(t) = N_A(0) + N_A(0) \frac{\lambda_B \lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} \left(\frac{1}{\lambda_A} e^{-\lambda_A t} - \frac{1}{\lambda_B} e^{-\lambda_B t} \right) \quad (7)$$

Ocurriendo que si $t \rightarrow \infty$, $N_C(t) = N_A(0)$.

La situación de equilibrio secular entre la actividad del núcleo inicial A y su descendiente B, se da al cumplirse que la constante de desintegración del primer elemento de la cadena, λ_A es mucho menor que cualquiera de las constantes de desintegración de los elementos radiactivos del resto de la cadena, en este caso sólo contamos con λ_B , de modo que se ha de cumplir $\lambda_A \ll \lambda_B$. Además, se ha de cumplir que $\lambda_B t \gg 1$. De este modo, partiendo de las actividades del elemento A y del elemento B, demostraríamos que el equilibrio secular en esa cadena queda establecido se ambas son iguales. De esta forma, las actividades de A y B resultan:

$$\lambda_A N_A(t) = \lambda_A N_A(0) e^{-\lambda_A t} \quad (8)$$

$$\lambda_B N_B(t) = \lambda_B \frac{\lambda_A}{\lambda_A - \lambda_B} N_A(0) (e^{-\lambda_B t} - e^{-\lambda_A t}) \quad (9)$$

Reescribimos la actividad del elemento B (9) en función de la actividad del elemento A (8), resultando:

$$\lambda_B N_B(t) = \lambda_A N_A(t) \frac{\lambda_B}{\lambda_A - \lambda_B} \left(\frac{e^{-\lambda_B t}}{e^{-\lambda_A t}} - 1 \right) \quad (10)$$

En donde, aplicando que $\lambda_A \ll \lambda_B$, podemos aplicar aproximaciones en (10) hasta llegar a:

$$\lambda_B N_B(t) = \lambda_A N_A(t) e^{-\lambda_B t} \quad (11)$$

Que conduce a la condición de equilibrio secular cuando $\lambda_B t \ll 1$, es decir, $\lambda_B T_{1/2} \ll t$. De esta forma, las actividades del elemento A y del elemento B son la misma al darse la situación de equilibrio secular.

Mencionar que para el estudio que vamos a realizar nos sería suficiente con establecer la condición de equilibrio secular comenzando en el ^{226}Ra hasta llegar al Pb estable (Figura 3). Esto es así debido a que el ^{226}Ra tiene un periodo de semidesintegración de 1600 años, mucho mayor que cualquiera de sus descendientes.

A continuación se muestran las cadenas radiactivas del ^{238}U y del ^{235}U , en las figuras 3 y 4 respectivamente.

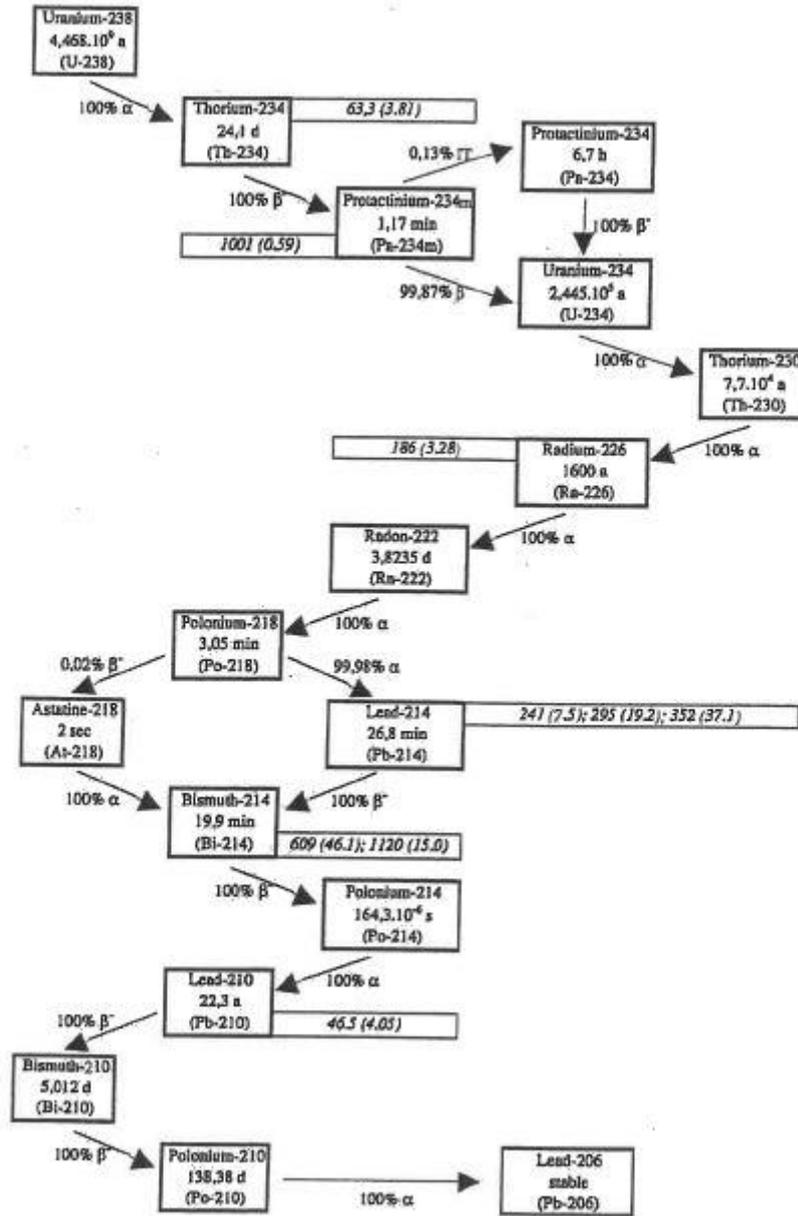
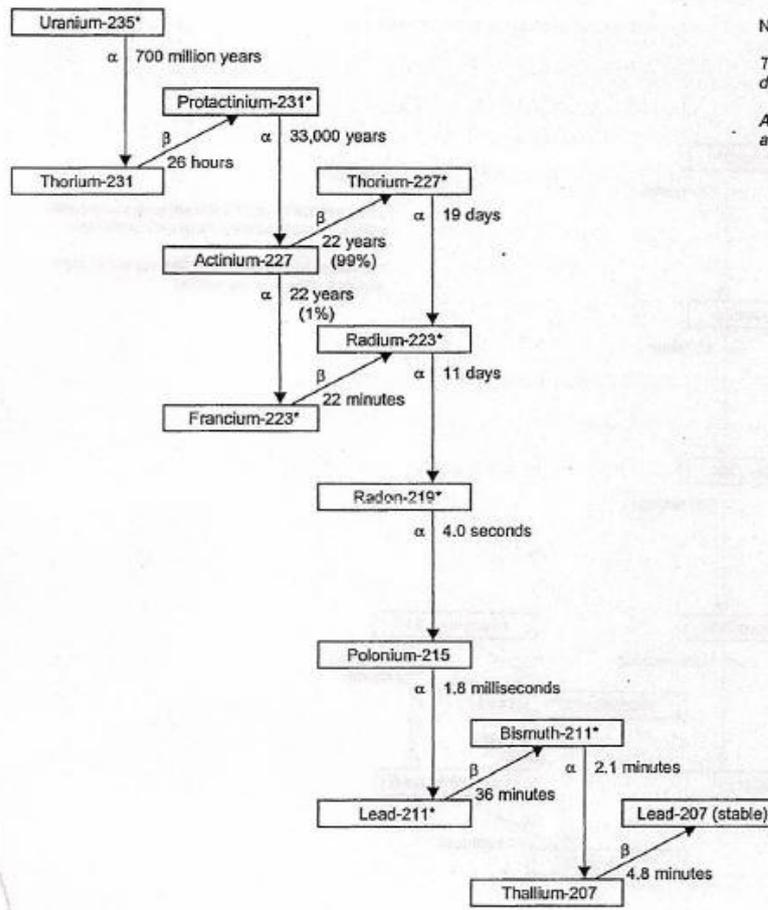


Fig. 3. Cadena de desintegración del ^{238}U . Se muestran los elementos generados, asignando el tipo de desintegración sufrida (α o β). También se marcan los picos gamma con sus respectivas probabilidades entre paréntesis.



NOTES:
 The symbols α and β indicate alpha and beta decay, and the times shown are half-lives.
 An asterisk indicates that the isotope is also a significant gamma emitter

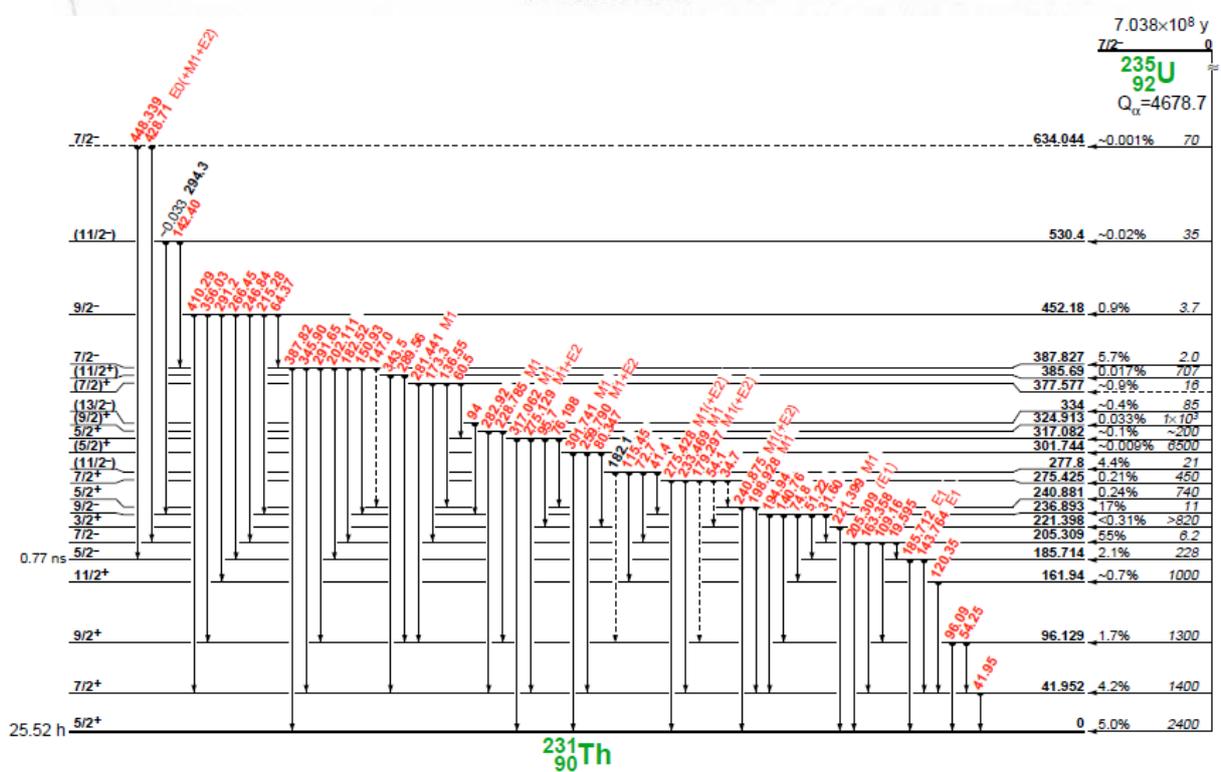


Fig. 4. Cadena de desintegración del ^{235}U . Primera imagen muestra cadena completa [1]. Segunda imagen muestra primer decaimiento, el más importante para nuestro estudio [15].

1.6. Radiación Beta

Radiación producida en un decaimiento beta. Dicho proceso consiste en un núcleo que, buscando un estado más estable, convierte un nucleón (un neutrón o un protón) dentro del núcleo en otro nucleón, y genera a su vez una partícula β y un neutrino (o un antineutrino).

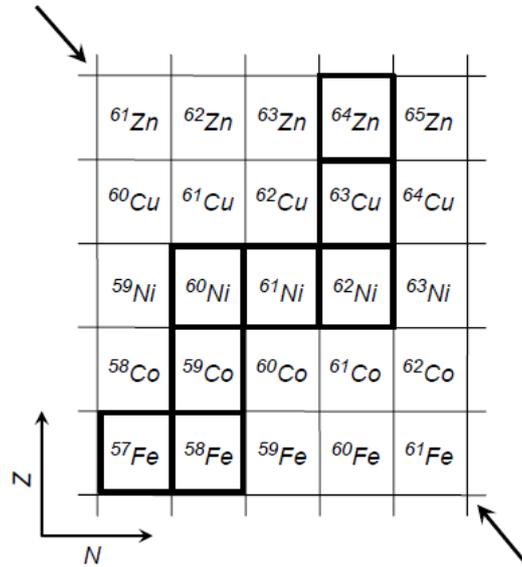
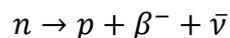


Fig. 5. Ejemplo de elementos que sufren desintegración beta buscando conseguir ser un elemento más estable (marcados estos últimos con bordes oscuros). El proceso β^- lo sufrirían elementos a la derecha de la región de estabilidad, mientras que el β^+ lo sufrirían aquellos que estuviesen a la izquierda [8].

Consiguiendo, de esta forma, que se conserve el número másico, A, a coste de que aumentar Z y disminuir N o viceversa.

A raíz de la Figura 5 se puede observar que hay dos métodos de desintegración beta, siendo estos los denominados β^- y β^+ (electrón y positrón respectivamente),



Es decir, un protón da lugar a un neutrón, un positrón y un neutrino.

La radiación gamma aparece en este proceso debido a que es común que el decaimiento del núcleo padre al núcleo hijo no sea directamente al estado fundamental, sino quedando el núcleo hijo en un estado excitado, emitiendo radiación gamma al desexcitarse. Este proceso puede ser directo (se desexcita directamente al estado fundamental) o indirecto (decaendo en sucesivos estados excitados de menor energía, comúnmente conocido como cascada).

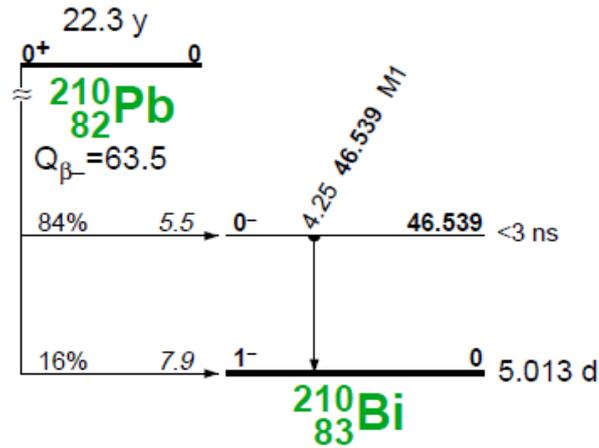


Fig. 6. Ejemplo decaimiento beta del ^{210}Pb al ^{210}Bi , elementos pertenecientes a la cadena del ^{238}U [15].

1.7. Radiación Alfa

Radiación producida por el decaimiento alfa de un elemento. En este proceso es característico la emisión de partículas alfa, que resultan ser un núcleo de $^4_2\text{He}^+$.

La emisión de radiación gamma es un proceso idéntico al debido en la radiación beta: El núcleo padre decae al núcleo hijo, pudiendo quedar éste en un estado excitado que, o bien decae al estado fundamental, o bien produce una cascada de decaimientos cada vez de menor energía hasta llegar al estado fundamental. En cada una de dichas desexcitaciones se produce emisión gamma. Decir que en este proceso, el número másico del padre no es el mismo que el del hijo.

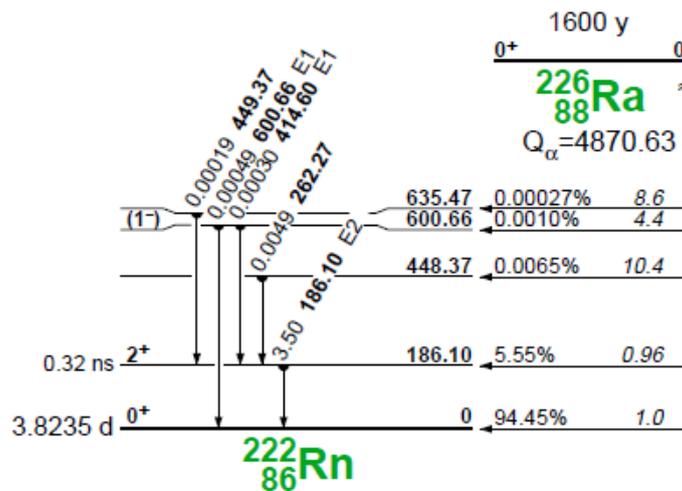


Fig. 7. Ejemplo de desintegración alfa del ^{226}Ra al ^{222}Rn , elementos pertenecientes a la cadena el ^{238}U [15].

2. Detectores HPGe para radiación gamma

Todo detector de partículas depende en gran medida de la generación de partículas secundarias cargadas para ser recolectadas en pos de producir una señal eléctrica. Esto es posible con la radiación alfa, beta y gamma, radiaciones ionizantes, para las cuales la señal que se produce es debida a la ionización y excitación directa del material del detector, ya que en dichas reacciones se generan partículas cargadas.

En el caso de la radiación gamma, los fotones producen diversas ionizaciones a su paso a través del material al interactuar con las partículas cargadas del medio. Si consideramos un material semiconductor, estas partículas cargadas interactúan posteriormente con el material creando pares electrón hueco que recolectamos para cuantificar y generar una señal, siendo la energía de los fotones proporcional a la cantidad de carga recolectada.

De esta forma, la creación de un detector semiconductor conlleva de la utilización de un material y una forma adecuados para la recolección y cuantificación de los pares electrón-hueco generados y su posterior transformación en una señal eléctrica. Debido a ello, hay que tener muy en cuenta los procesos de interacción entre la radiación gamma y la materia.

2.1. Fenómenos de interacción radiación gamma con la materia

Al contrario que la radiación alfa y beta, la radiación gamma no conlleva la modificación del número de protones, neutrones o el número másico. La radiación gamma realmente es la desexcitación del núcleo de un elemento [8] (transición entre estados excitados del núcleo) siendo frecuente que aparezca en procesos como la radiación alfa y beta. Podemos localizarla en el espectro electromagnético en los valores más altos de energía (frecuencias más altas).

Los modos por los cuales puede darse la interacción con la materia son varios: efecto fotoeléctrico, producción de pares, dispersión Compton, dispersión de Rayleigh (o también conocida como dispersión coherente) y reacciones fotonucleares. En la dispersión coherente se ve involucrada la reemisión de rayos gamma después de la absorción, cambiando la dirección del rayo, por lo que este modo de interacción no transfiere energía al detector y no lo tenemos en cuenta en la detección. Las secciones eficaces de las reacciones fotonucleares no son significativas para rayos gamma de energía inferior a 5 MeV por lo que este modo también lo descartamos. Por lo tanto, los modos de interacción materia que debemos tener en cuenta son: efecto fotoeléctrico, producción de pares y dispersión Compton.

2.1.1. Efecto fotoeléctrico

Es el efecto resultante de la interacción del fotón de los rayos gamma con un electrón enlazado a un átomo. Como resultado a la interacción, el electrón es emitido del átomo. Debido a esto, el átomo queda en un estado excitado, pudiendo desexcitarse por medio de dos vías: Repartiendo la energía entre los electrones restantes (lo que puede producir que los más externos escapen del átomo) o que la vacante que ha dejado el electrón emitido sea ocupada por un electrón de más alta energía, emitiendo en el proceso

un rayo X característico, que a su vez puede dar lugar a más efectos fotoeléctricos de forma que toda la energía de la radiación gamma quedaría absorbida.

2.1.2. Dispersión Compton

Interacción directa del rayo gamma con un electrón. En dicho proceso el electrón adquiere una energía de retroceso debido al “choque” y el fotón del rayo gamma cambia de dirección con una energía diferente. Observar que en el caso de darse que el ángulo de dispersión fuese cero, no se transmitiría energía al detector; mientras que en el caso contrario, si el ángulo fuese de 180°, la transferencia de energía sería máxima. La energía transferida va a estar entre estos dos casos extremos, relacionándose con los casos intermedios de los valores de los ángulos. Por lo tanto, la energía que se va a transmitir al detector nunca va a ser el total de la energía de la radiación gamma.

2.1.3. Producción de pares

Al contrario que en los dos casos anteriores, esta interacción conlleva que la radiación gamma interactúa con la totalidad del átomo, concretamente con el campo de Coulomb del núcleo, provocando que se genere un par electrón-positrón. Para que este proceso sea posible es necesario que la energía del rayo gamma tenga, como mínimo la suma de la masa del electrón y el positrón (1022 keV, 511 keV del electrón y 511 keV del positrón), dándose que si la energía del rayo gamma es superior, se reparte equitativamente entre el par de partículas generadas. Pero acaban perdiéndola por transferencia al detector. El electrón cederá su energía al material mientras que el positrón va a aniquilarse formando dos gammas de 511 keV, pudiendo darse que escapen del detector los dos gamma, sólo uno o ninguno, viéndose reflejado en el espectro de energías (Figura 8).

2.2. Detector Semiconductor de HPGe

En el estudio aquí tratado se ha hecho uso de un detector semiconductor de HPGe (Germanio de Muy Alta Pureza). Los semiconductores son elementos, como el Si y el Ge, que presentan un pequeño gap (~1eV) [8] entre la banda de valencia y la de conducción, encontrándonos a temperatura ambiente con pequeñas concentraciones de electrones que han saltado de la banda de valencia a la de conducción por excitaciones térmicas. Este proceso genera un estado desocupado en la banda de valencia, observado como la aparición de una carga positiva, designándole el nombre de hueco.

La probabilidad de que un electrón sea promocionado de la banda de valencia a la banda de conducción está fuertemente ligada con la temperatura y viene dada por la ecuación siguiente:

$$P(T) \propto T^{3/2} \exp\left(-\frac{E_g}{2KT}\right) \quad (12)$$

Donde T es la temperatura absoluta, E_g la energía del gap entre la banda de conducción y la banda de valencia y K es la constante de Boltzmann. Así, consiguiendo reducir la temperatura del semiconductor, podemos reducir el número de electrones en la banda de conducción por efecto térmico (pudiendo llegar a prácticamente cero),

facilitando la detección de excitaciones producidas por otros medios, como la radiación gamma.

Los semiconductores pueden ser dopados con impurezas (otros átomos). Esto implica la generación de nuevos niveles de energía permitidos dentro del gap existente entre las bandas de valencia y conducción. Existen dos tipos de impurezas: aceptoras (átomos con valencia inferior a la del elemento base), que generan estados permitidos encima de la banda de valencia y aumentan el número de huecos en la banda de valencia, y dadoras (átomos con valencia superior), que generan estados permitidos debajo de la banda de conducción y aumentan el número de electrones de conducción. Son semiconductores tipo-p cuando la concentración de huecos supera la de electrones; y son semiconductores tipo-n si es mayor la concentración de electrones.

Al unir un semiconductor tipo-p y un semiconductor tipo-n, creamos la unión p-n, donde los electrones de conducción del semiconductor tipo-n se recombinan con los huecos de la banda de valencia del semiconductor tipo-p en la zona más cercana al punto de contacto de la unión. Ya que la región del semiconductor tipo-n está cargada negativamente y la región del semiconductor tipo-p positivamente, un campo eléctrico es generado y, por ende, una diferencia de potencial, oponiéndose a la recombinación electrón-hueco. Por ello, la recombinación sólo se da en una pequeña zona denominada zona de vaciado. Esta zona es la que permite utilizar a un semiconductor como un detector. La radiación incide en la zona de vaciado, transfiriendo energía por efecto fotoeléctrico o Compton y creando pares electrón-hueco. La contabilización de esta energía se hace por medio de la recolección de los pares electrón-hueco, razón por la que se aplica un voltaje en polarización directa en el semiconductor tipo-n y en polarización inversa en el semiconductor tipo-p. Aun así, el mayor problema que nos ocupa es el tamaño de la zona de vaciado, la cual aumenta con el voltaje aplicado y disminuye con el número de impurezas presentes. Trabajando a un potencial fijo, el tamaño de la región sólo dependerá de la concentración de impurezas, radicando el problema en el desarrollo de técnicas para la generación de elementos lo más puros posible.

Una de ellas es la obtención de germanio de alta pureza a partir de germanio bruto por medio del aumento localizado de la temperatura en el material hasta conseguir que se funda. Las impurezas quedan entonces atrapadas en la zona fundida (debido a que son más solubles) y eliminadas del germanio con la extracción del material fundido. La repetición de este proceso nos devuelve como resultado la reducción significativa de las impurezas [9].

El germanio tiene un gap de 0.7 eV [9], por lo que a temperatura ambiente (~300 K) nos encontramos con electrones en la banda de conducción que han sido promocionados desde la banda de valencia. Esto genera ruido en la señal a la hora de realizar medidas. Evitamos el problema enfriando el detector de germanio hasta ~77 K por medio de nitrógeno líquido. Además, para evitar corrientes térmicas entre el cristal y el aire, el detector debe ser colocado en un criostato al que se ha sometido a vacío.

El detector utilizado es un detector semiconductor de germanio de alta pureza (intrínseco) en configuración coaxial: Cristal largo de germanio cilíndrico, con un electrodo externo y otro interno, colocado tras haber extraído el núcleo del cristal, permitiendo crear grandes volúmenes activos (zonas de vaciado útiles para detección). Normalmente los detectores coaxiales se cubren totalmente con un electrodo externo y

del core interno sólo se extrae la parte más cercana al final del cristal, evitando así fugas de corriente. Siendo sus dimensiones 34 mm de altura y 48 mm de diámetro.

2.3. Espectroscopía Gamma en detectores de Ge

2.3.1. Resolución y Eficiencia

La eficiencia absoluta de un pico de energía dado, $\epsilon(E_\gamma)$, se define como:

$$\epsilon(E_\gamma) = \frac{cps(E_\gamma)}{A \cdot p(E_\gamma) \cdot m} \quad (13)$$

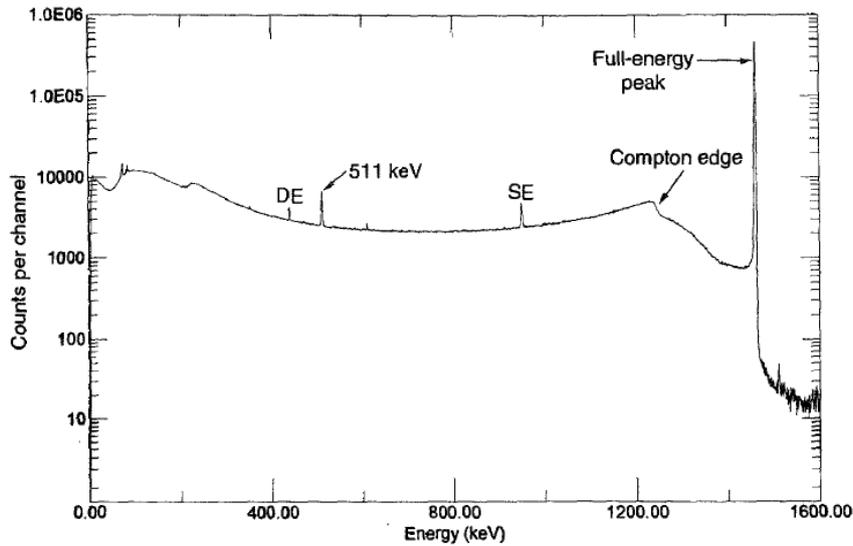
Donde $cps(E_\gamma)$ son las cuentas netas (que provienen únicamente de la muestra) por segundo registradas por el detector, A es la actividad específica (Bq/kg) detectada, $p(E_\gamma)$ es la probabilidad de emitirse el fotón de energía E_γ cuando se produce una desintegración del isótopo y m es la masa de la muestra.

La resolución, por su parte, queda definida como el cociente entre la anchura a altura mitad de un pico de energía, $FWHM$ (*Full width at half maximum*), y la energía del pico: $R(E_\gamma) = FWHM/E_\gamma$. Aunque en los detectores de Ge, es común dar FWHM como función de la energía. En el caso de nuestro detector de Ge, su resolución está comprendida entre 1 y 3 keV.

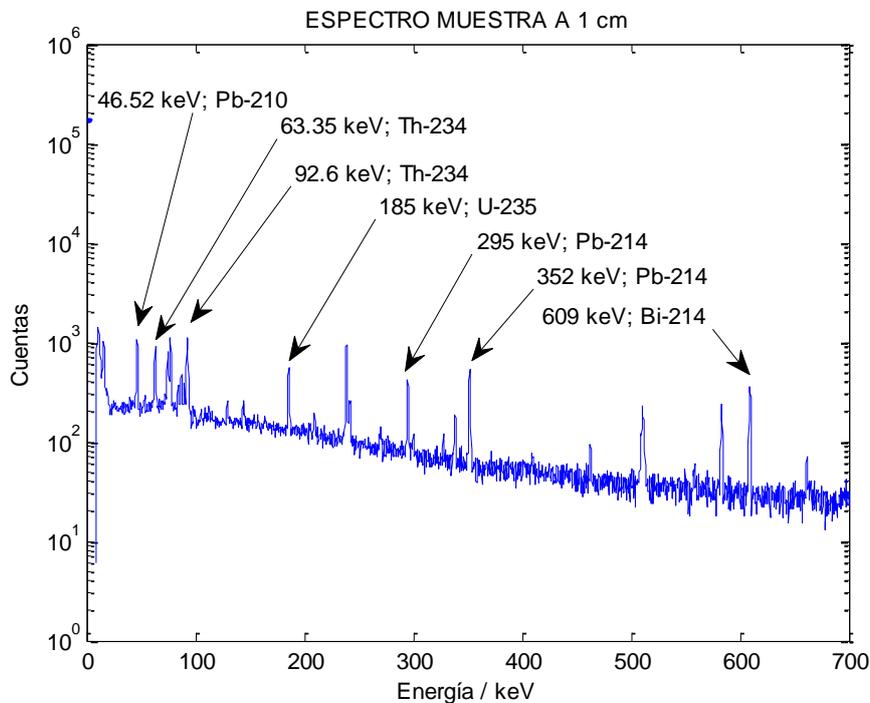
2.3.2. Función de respuesta

En los detectores de Ge la absorción completa de la radiación gamma puede darse por medio de un único efecto fotoeléctrico, aunque este hecho es muy poco frecuente. Normalmente la absorción de la radiación gamma es un conjunto de procesos compuestos por dispersión Compton (que puede darse varias veces) seguido de absorción fotoeléctrica. Tanto el proceso fotoeléctrico directo como el de varias etapas Compton con un efecto fotoeléctrico final, dan contribución al pico de transferencia total de energía, fotopico en el detector. Sin embargo, si alguno de los fotones Compton escapa del detector, no ocurrirá una transferencia total de la energía del fotón incidente, dando lugar a todo un continuo en la respuesta del detector a energías más bajas que la del fotón incidente.

Debido a esto, el espectro no va a estar formado únicamente por el fotopico, sino que presentará todo continuo debido a efecto Compton, como se muestra en la Figura 8. Generalmente se da la situación de estudiar diferentes radiaciones con diferentes energías, lo que se traduce en la suma del continuo formado por el efecto Compton y los fotopicos, dando lugar a un espectro bastante complejo, necesitando, por lo tanto, una buena resolución en energías.



(a)



(b)

Fig. 8. Espectros gammas obtenidos con detector HPGe (a) para radiación incidente monoenergética de 1460 keV emitido por ^{40}K [9] y (b) muestra de sedimento a 1 cm de profundidad (la más externa) marcados los picos importantes para nuestro estudio.

Hay que mencionar, a raíz de la Figura 8 (a), que la producción de pares es únicamente posible para radiación gamma de alta energía ($E_\gamma \geq 1022 \text{ keV}$). Llegando a darse dicho proceso, tenemos dos situaciones posibles: El más común es el caso en el que uno de los fotones de 511 keV emitidos en la aniquilación del positrón escape del detector (denominado Escape Simple o *Single Escape*) dando lugar a un pico con una energía de 0.511 MeV por debajo del fotopico. También puede darse que ambos fotones escapen, produciendo que un pico de doble escape aparezca en el espectro (denominado Escape Doble o *Double Escape*) con una energía igual a la del fotopico menos 1022 keV. Añadir

que la radiación debida a la aniquilación del par producido por la radiación gamma fuera del detector, en los blindajes y carcasas, mostrará un pico de 511 keV.

Por otro lado, en la Figura 8 (b), se presenta el espectro de la muestra de capa de sedimento a 1 cm de profundidad en escala logarítmica en el eje de abscisas. Se remarcan los picos de interés para nuestro estudio junto con los elementos a los que pertenecen. Se puede observar que los picos de interés están presentes en el continuo formado por los diversos efectos Compton. El espectro completo se presenta en el Apéndice II.

2.3.3. Calibración del detector

Es necesario hacer una calibración para poder asignar a los canales, Ch , disponibles valores de energía, E . La curva de calibración esperada [8] obedece a la expresión:

$$E = \sum_{n=1}^N a_n Ch^n \quad (14)$$

Donde a_n son coeficientes de la curva.

De igual modo, un calibrado en eficiencia es necesario y se pueden ajustar los valores para la eficiencia obtenidos experimentalmente con la Ecuación (13) a la curva siguiente [8]:

$$\ln(\epsilon) = \sum_{n=1}^N a_n [\ln(E)]^n \quad (15)$$

A continuación muestro en la Figura 9 la curva de calibración en eficiencia típica para un detector de HPGe [9]. Para nuestro detector y nuestro tipo de muestras (50 gramos de sedimento seco en recipiente de plástico) la curva de eficiencia en función de la energía la presentaremos en la Sección 6.1.

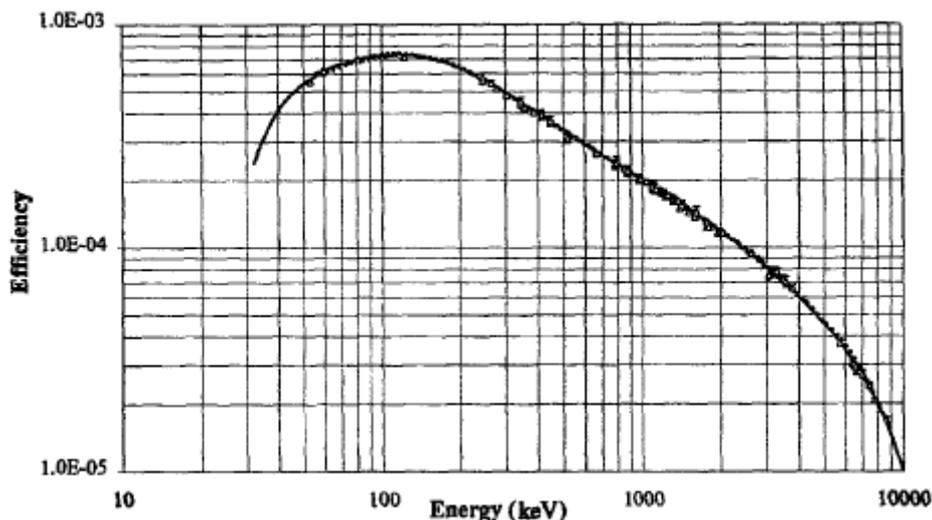


Fig. 9. [9].

3. Datación de Sedimentos

3.1. Trazadores

En la datación de sedimentos se hace uso típicamente de dos elementos radiactivos como trazadores: el ^{210}Pb y el ^{137}Cs . Esto es debido a que satisfacen varios puntos importantes [4]: la química del isótopo y la vida media son conocidas, la cantidad inicial del isótopo es conocida o puede ser determinada con precisión y es fácilmente detectable. El ^{137}Cs es un elemento de origen antropogénico, habiendo sido inyectado en la atmósfera a raíz de las explosiones nucleares, con un máximo en el año 1963, tal y como puede verse en la Figura 12. Si combinamos este hecho junto con su periodo de semidesintegración, $T_{1/2}$, de 30 años tenemos las herramientas para poder estimar la edad de aquellas capas con presencia de un máximo de actividad de ^{137}Cs . El isótopo ^{210}Pb proviene de la cadena del ^{238}U , permitiendo así datar diferentes capas de sedimentos y no solamente aquellas que presentan máximos en la actividad correspondiente.

3.1.1. ^{210}Pb y su ciclo

El ^{210}Pb es un elemento adecuado para la datación de sedimentos, de una edad no muy superior a cien años, debido a su vida media relativamente corta, 22.3 años. Este elemento forma parte de la cadena del ^{238}U , concretamente se forma a partir del ^{222}Rn , después del decaimiento de varios isótopos intermedios, como puede verse en la Figura 3 (cadena radiactiva). El decaimiento de ^{210}Pb se ha presentado en la Figura 6 donde se indica el fotón gamma de 46, 5 keV que detectaremos con el equipo HPGe.

El ^{222}Rn tiene una vida media de 3.8235 días [14]. Es gaseoso, permitiendo que parte se escape a la atmósfera y otra parte quede en el sedimento, como puede verse en la Figura 10. La cantidad que ha quedado en el sedimento es lo que da lugar al ^{210}Pb soportado, $^{210}\text{Pb}_{\text{sop}}$. Debido a que el ^{222}Rn se ha mantenido en el sedimento, ha formado parte de la cadena del ^{238}U , alcanzando el equilibrio secular con el resto de los elementos de la cadena. Por otro lado está el ^{222}Rn que ha escapado a la atmósfera, el cual decae a ^{210}Pb rápidamente y es precipitado al cabo de un tiempo de estancia en la atmósfera de 10 días. Esto genera una concentración de ^{210}Pb en exceso en el sedimento. Una forma de representar el ciclo es la siguiente:

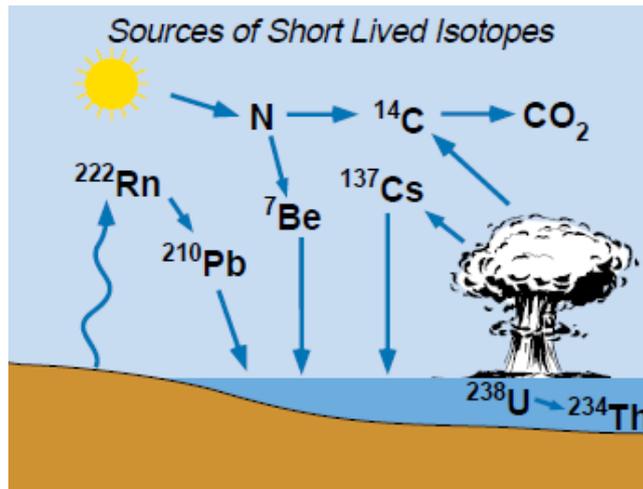


Fig. 10. Imagen ilustrativa del ciclo del Pb-210 y otros elementos usualmente utilizados para datación [4].

El proceso de datación consiste en la medición de la actividad del ^{210}Pb en exceso, $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, la cual marcará un perfil exponencial (como marca la ley de desintegración radiativa) que quedará superpuesto a la actividad de ^{210}Pb soportado por el sedimento. Un ejemplo es mostrado en [4]:

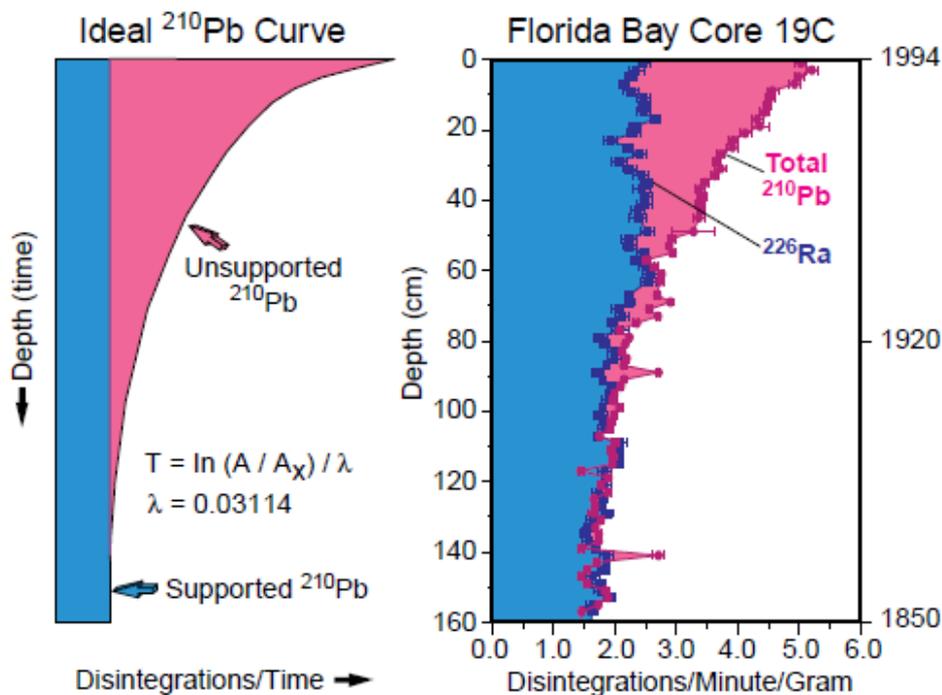


Fig. 11. Perfiles de actividad de ^{210}Pb , ideal (izquierda) y experimental (derecha). Se muestra en ambos casos con color azul la actividad de ^{210}Pb soportado y en rosa la actividad de ^{210}Pb en exceso.

Como puede observarse en la Figura 11, el perfil de la actividad de ^{210}Pb soportado se mantiene prácticamente constante, como era de esperar para el sedimento al estar en equilibrio secular. En cambio, el plomo en exceso que ha sido depositado en un momento en la superficie del sedimento ha ido siendo sepultado por más capas de sedimento con el paso del tiempo, dejando de tener aporte vital, por lo que, como se puede ver en la imagen,

al cabo de mucho tiempo el plomo en exceso desaparece, dejando sólo el plomo soportado, que es alimentado por los elementos anteriores de la cadena radiactiva del ^{238}U .

3.1.2. ^{137}Cs

Este elemento no se encuentra de forma natural, ya que es un producto generado a partir de reacciones nucleares. Debido a esto, sirve como indicador de las pruebas o accidentes nucleares, donde se liberaron grandes cantidades de este radioisótopo, que se sedimentó posteriormente.

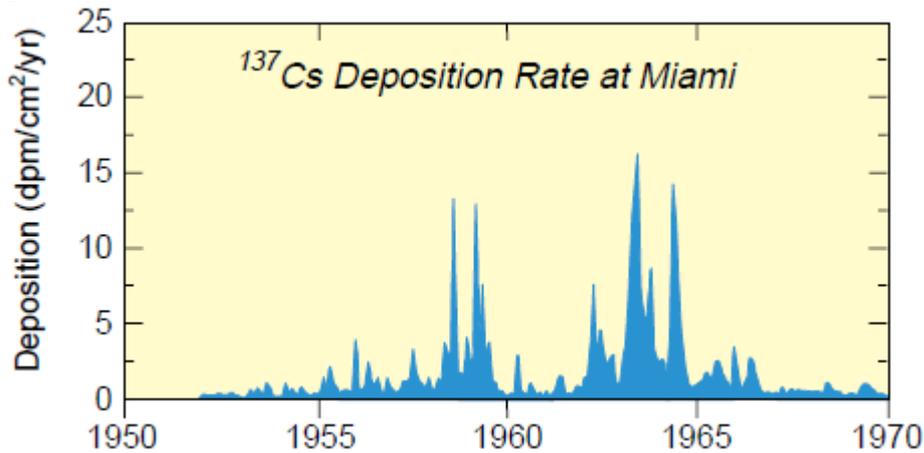


Fig. 12. Perfil de deposición del ^{137}Cs [4].

La utilización del ^{137}Cs como trazador es un método aceptable para corroborar que otros métodos de datación están siendo correctamente ejecutados, siempre y cuando haya suficiente presencia de ^{137}Cs en los sedimentos estudiados. De esta forma, se deberían obtener gráficas parecidas a la mostrada en la Figura 12, donde se presentan máximos de deposición en los años que se realizaron pruebas nucleares.

3.2. Modelos de datación usando ^{210}Pb

En este trabajo se han utilizado dos métodos ampliamente utilizados por la comunidad científica para la datación de sedimentos: los modelos CIC (Concentración Inicial Constante o *Constant Initial Concentration*) y CRS (Ritmo de Aporte Constante o *Constant Rate of Supply*).

Ambos modelos se basan en unos puntos comunes:

- La concentración de ^{210}Pb en la atmósfera es constante y no sufre variaciones estacionales, climáticas o de localización concreta. La forma de depositarse ese ^{210}Pb es la que se considerará diferente en los dos modelos estudiados.
- La concentración de ^{210}Pb en el agua que pueda haber encima del sedimento se considera ínfima, pudiendo determinar que dicho agua no es una reserva de ^{210}Pb que pueda afectar en gran medida a los datos, pudiendo obviarla. Por esta razón es habitual extraer los testigos para datar en ambientes sedimentarios cubiertos casi constantemente por agua como sucede en lagos y/o estuarios.

- Dado que el tiempo que pasa el ^{210}Pb en la atmósfera es mucho mayor que el transcurrido en el agua hasta depositarse en el sedimento, se supone que el ^{210}Pb pasa directamente desde la atmósfera al sedimento.

Para poder entender bien ambos modelos es necesario definir ciertas magnitudes comunes a ambos:

El ritmo de acumulación de masa, r_i ($\text{g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$), de cualquier lámina de sedimento viene definida como:

$$r_i = \frac{\Delta m_i}{S \Delta t_i} \quad (16)$$

Es decir, la masa depositada, Δm_i , en una superficie, S , durante un intervalo de tiempo, Δt_i , en el instante de su formación.

El ritmo de sedimentación de la misma sección, s_i (cm yr^{-1}), se define como el ancho de la muestra entre el tiempo requerido para su formación:

$$s_i = \frac{\Delta x_i}{\Delta t_i} \quad (17)$$

El flujo de actividad media, f_i ($\text{Bq cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$), del radionúclido en la lámina de sedimento i es:

$$f_i = r_i A_{i,0} \quad (18)$$

Donde $A_{i,0}$ (Bq kg^{-1}) es la actividad inicial específica del radionúclido en la lámina de sedimento i .

3.2.1. Modelo CIC: Concentración Inicial Constante

Este modelo [12] asume que la actividad inicial $A_{i,0}$ de plomo en exceso, $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ es constante en todas las capas. Es decir, $A_i(0) = A_0$ para toda lámina de sedimento en el momento de su formación, esto es, $t_i = 0$.

Por otro lado, la actividad decae para cualquier capa de la forma:

$$A(t) = A(0)e^{-\lambda t} \quad (19)$$

Siendo λ la constante de desintegración del ^{210}Pb , que tiene un valor de 0.0311 yr^{-1} y t es el tiempo transcurrido desde la formación de la lámina de sedimento. De modo que despejando t podemos asociar un tiempo a cada lámina de sedimento:

$$t(x) = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A(0)}{A(x)} \quad (20)$$

Y si suponemos que la velocidad de sedimentación es constante, $s = \frac{x}{t}$, entonces podemos desarrollar la ecuación hasta obtener:

$$\ln A(x) = \ln A(0) - \frac{\lambda}{s} x \quad (21)$$

De modo que tenemos una forma de obtener una aproximación del valor de la velocidad de sedimentación a partir de la pendiente de la recta esperada en el comportamiento de $\ln A(x)$.

La hipótesis de partida de este modelo es demasiado estricta, ya que sólo contempla la posibilidad de que los perfiles de concentración del ^{210}Pb decrezcan monótonamente con la profundidad del sedimento, obligándonos a restringir los datos a zonas con poca actividad humana o sin alteraciones debidas a sucesos climáticos.

3.2.2. Modelo CRS: Velocidad de Aporte Constante

Este modelo [10] [12] [13] parte de la hipótesis de tener un flujo constante de ^{210}Pb en exceso, $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, sobre el sedimento. Es decir, la cantidad sedimentada de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ anual y por unidad de área es constante. Por lo tanto, podemos escribir que:

$$f = r_i A_{i,0} = \text{cte} \quad (22)$$

Esta hipótesis es la que marca la diferencia con el modelo anterior, ya que de esta manera nos aseguramos que la cantidad de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ depositado es constante independientemente de los cambios que sufra el ritmo de acumulación de masa. Por esta razón, a priori, es el modelo más razonable para el tipo de ambiente sedimentario en el que se ha recogido la muestra.

Si tenemos en cuenta las propiedades comunes con el modelo CIC explicadas anteriormente, podemos encontrar una relación entre la actividad, el flujo, el ritmo de acumulación de masa y el tiempo transcurrido, esto es:

$$A(x) = A_i(t) = A_i(0)e^{-\lambda t} = \frac{f}{r(x)} e^{-\lambda t} \quad (23)$$

Teniendo esto en cuenta, podemos escribir la actividad total o acumulada, $A_c(x)$, de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ desde una profundidad x hasta el fondo del testigo de sedimento como:

$$A_c(x) = \int_x^\infty A(x') \rho(x') dx' \approx \sum_i^\infty A_i \rho_i \Delta x_i \quad (24)$$

Donde $\rho(x')$ es la densidad del sedimento a la profundidad x .

Si ahora aplicamos (23) a (24) llegamos a:

$$A_c(x) = \int_x^\infty \frac{f}{r(x')} e^{-\lambda t'} \rho(x') dx' \quad (25)$$

Ahora bien, para poder resolver la integral podemos buscar ayuda en la relación entre la profundidad y el tiempo marcada por el ritmo de acumulación de masa, con el objetivo de poner todo en función de la variable temporal t .

$$r(x) = \frac{dm}{S dt} = \frac{S \rho(x) dx}{S dt} \rightarrow dx = \frac{r(x) dt}{\rho(x)} \quad (26)$$

De modo que la integral puede ser reescrita como:

$$A_c(x) = \int_x^\infty \frac{f}{r(x')} e^{-\lambda t'} \rho(x') dx' = \int_x^\infty f e^{-\lambda t'} dt' = \frac{f}{\lambda} e^{-\lambda t} \quad (28)$$

Sustituyendo $\frac{f}{\lambda} = A_c(0)$, que significa la actividad total de toda la columna de sedimento o la actividad acumulada en la superficie. De este modo resulta:

$$A_c(x) = A_c(0) e^{-\lambda t} \quad (29)$$

Con lo cual, si despejamos el tiempo, podemos obtener una ecuación para realizar la datación del sedimento:

$$t(x) = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A_c(0)}{A_c(x)} \quad (30)$$

Y con las relaciones aquí desarrolladas, obtenemos una ecuación para el cálculo de la velocidad de sedimentación en función de las actividades acumulada y en exceso del sedimento a cada profundidad.

$$s(x) = \frac{dx}{dt} = \frac{r(x)}{\rho(x)} = \frac{f e^{-\lambda t}}{\rho(x) A(x)} = \frac{\lambda A_c(0)}{\rho(x) A(x)} \quad (31)$$

4. Detección de Contaminación por Uranio

A la hora de obtener las actividades de los diferentes isótopos, caracterizados por las energías de sus emisiones gamma, para cada profundidad del sedimento, observamos que el pico de 63 keV (^{234}Th , Figura 3). No presentaba el comportamiento esperado que sí obedecen el ^{214}Pb y el ^{214}Bi para una situación de equilibrio secular. Esto puede verse en la Figura 13.

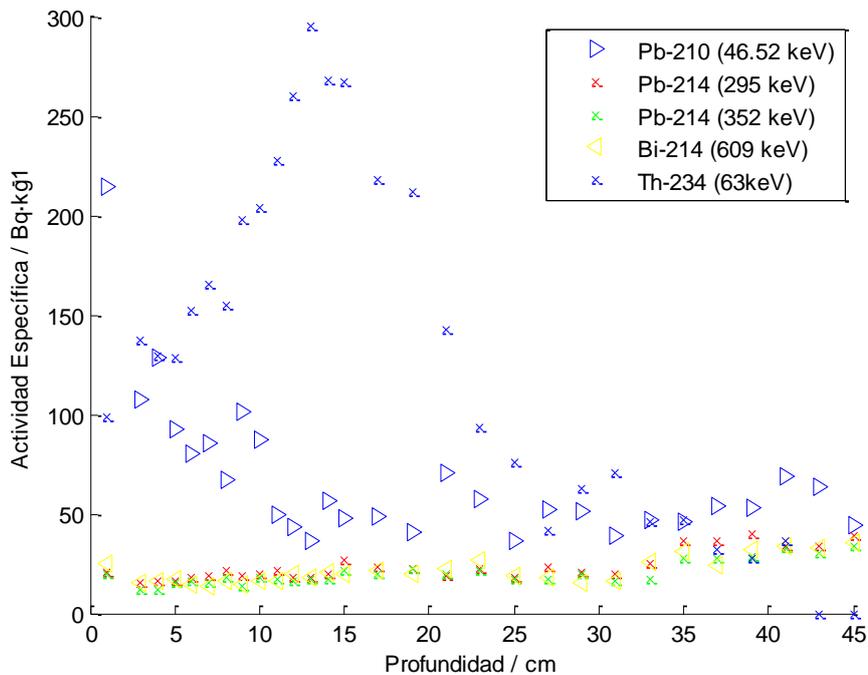
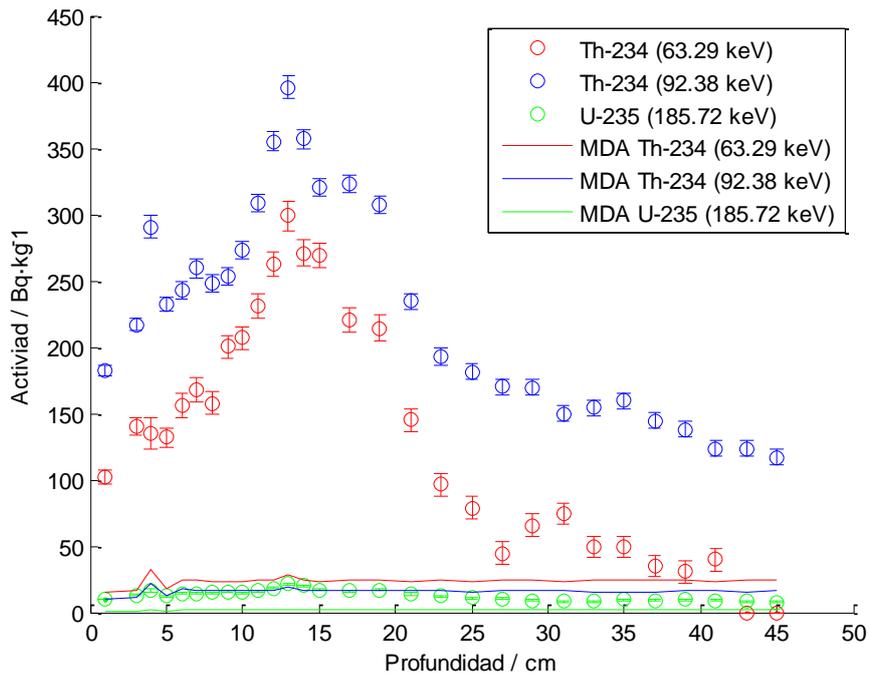


Fig. 13. Actividades de los diferentes elementos de la cadena del ^{238}U que nos permitirían medir la actividad en exceso de ^{210}Pb .

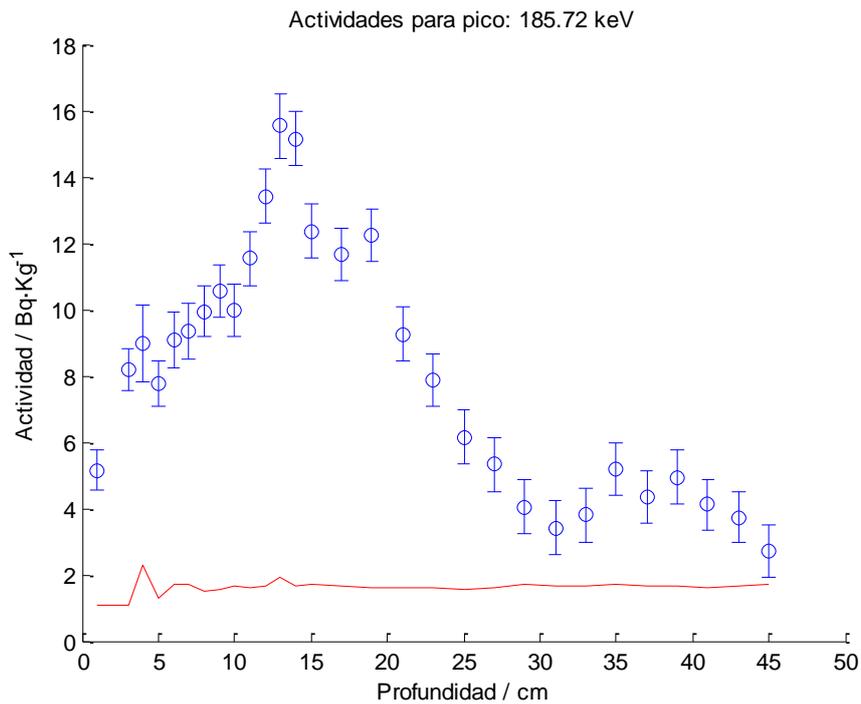
Al ampliar el estudio se observó que no sólo el pico de 63 keV del ^{234}Th no era el único que presentaba un comportamiento anómalo. Los otros picos correspondían a ciertos isótopos pertenecientes a dos cadenas de decaimiento concretas: La cadena del ^{238}U y la cadena del ^{235}U . Dichos picos eran el pico de 185.72 keV (procedente del ^{235}U , Figura 4) y los picos 92.38 keV, 63.29 keV (procedentes del ^{234}Th , Figura 3), 186.1 keV (procedente del ^{226}Ra , Figura 3). Dichos picos se muestran en la Figura 14. Además, en la Figura 14 se indican también las correspondientes Actividades Mínimas Detectables (MDA) para los isótopos analizados. Los valores de MDA dependen de la tasa de cuentas de fondo en cada energía y del tiempo de cuenta, además del intervalo de confianza elegido para la estimación de errores. En las condiciones en las que realizamos las medidas en nuestro caso, se puede obtener el valor como:

$$MDA = 2k \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot n_B}{t}} \quad (32)$$

Donde n_B es la tasa de cuentas de fondo a la energía correspondiente, t es el tiempo de medida (86400 S) y k el intervalo de confianza $k = 1.645$ en nuestro caso.



(a)



(b)

Fig. 14. Actividad en función de la profundidad de (a) picos que no presentaban equilibrio secular y comportamiento anómalo (b) pico de 185.72 keV procedente del ^{235}U con contribución del pico de 186.1 keV ^{226}Ra , mostrando la MDA correspondiente en rojo.

En las figuras anteriores, vemos que las actividades específicas asociadas al isótopo ^{234}Th cuyos fotones son 92,38 keV y 63,29 keV, presentan un máximo respecto

de lo esperable en el caso de equilibrio secular en todos los isótopos de la cadena. Por otro lado, el pico de energía 186 keV, mostrado en la Figura 14 (b), presenta el problema de poder tener contribución debida al decaimiento del ^{226}Ra (procedente de la cadena radiactiva del ^{238}U), ya que el fotón correspondiente tiene una energía muy próxima, 186.1 keV. Este problema surge debido a que el equipo de detección HPGe no tiene resolución suficiente para separar ambos picos.

Ante esta situación vamos a realizar una serie de pasos con la intención de poder discernir qué actividad es debida a uranio soportado por el terreno y qué actividad corresponde a uranio inyectado en el medio.

4.1. Situación 1: Presencia única de uranio en equilibrio secular

En este caso, sólo habría uranio soportado en el terreno. Partimos del supuesto de que los minerales que contienen uranio y que forman parte del sedimento cumplen las condiciones para el equilibrio secular descritas en la Sección 1.5, para que las cadenas del ^{238}U y ^{235}U estén en equilibrio secular con sus respectivos descendientes radiactivos. Debido a esto, tendremos que las cuentas obtenidas para el pico de 185.7 keV serán:

$$c_n(E_\gamma) = \varepsilon(E'_\gamma)\lambda_{Ra^{226}}N_{Ra^{226}}P_{Ra^{226}}(E'_\gamma) + \varepsilon(E_\gamma)\lambda_{U^{235}}N_{U^{235}}P_{U^{235}}(E_\gamma) \quad (33)$$

Donde c_n son las cuentas netas por segundo obtenidas para el pico de energía E_γ (185.72 keV), ε es la eficiencia del detector para el mismo pico de energía, $\lambda_{Ra^{226}}$ es la constante de desintegración del ^{226}Ra , $N_{Ra^{226}}$ es el número de desintegraciones del ^{226}Ra (siendo $\lambda_{Ra^{226}}N_{Ra^{226}}$ la actividad del ^{226}Ra), $P_{Ra^{226}}$ es la probabilidad de emisión del rayo gamma de energía E'_γ (186.1 keV), $\lambda_{U^{235}}$ es la constante de desintegración del ^{235}U , $N_{U^{235}}$ es el número de desintegraciones del ^{235}U (siendo $\lambda_{U^{235}}N_{U^{235}}$ la actividad del ^{235}U) y $P_{U^{235}}$ es la probabilidad de emisión del rayo gamma de energía E_γ (185.72 keV).

Como las cadenas están en equilibrio secular, la actividad del ^{226}Ra es la misma que el ^{238}U . Para hacer más fácil la notación me refiero a ^{238}U con el subíndice 8 y al ^{235}U con el subíndice 5:

$$c_n(E_\gamma) = \varepsilon(E'_\gamma)\lambda_8N_8P_8(E'_\gamma) + \varepsilon(E_\gamma)\lambda_5N_5P_5(E_\gamma) \quad (34)$$

Donde $E'_\gamma = 186.1$ keV y $E_\gamma = 185.72$ keV.

La ecuación (34) hace uso de la actividad de ^{235}U , haciendo necesario determinar la actividad del ^{235}U utilizando algún otro pico gamma de su cadena. Este dato no es accesible a través de la cadena del ^{235}U , debido a la muy baja proporción de ^{235}U en el uranio natural y a la pequeña probabilidad de la mayoría de las transiciones gamma en la cadena, no se detectan picos debidos a sus descendientes (únicamente se detectan picos debido al decaimiento del ^{235}U al ^{231}Th , ver Figura 4).

Afortunadamente, contamos con la presencia de varios picos procedentes de la cadena del ^{238}U (concretamente utilizamos ^{214}Pb : 295.2 keV, 351.99 keV; ^{214}Bi : 609.3 keV), y como por hipótesis suponemos que se encuentran en equilibrio secular, tenemos más fuentes fiables para calcular la actividad del ^{238}U soportado. Por lo tanto, una vez

determinada la actividad del ^{238}U en la hipótesis de equilibrio secular, podemos suponer que el ^{238}U y el ^{235}U están en la proporción natural, es decir:

$$N_5/N_8 = 0.72 / 99.27 = 1 / 137.875 \quad (35)$$

Pudiendo escribir:

$$\lambda_8 N_8 = \lambda_8 N_8 \frac{\lambda_5 N_5}{\lambda_5 N_5} = \frac{T_{1/2,5}}{T_{1/2,8}} \cdot 137.875 \cdot \lambda_5 N_5 \approx 21.6 \cdot \lambda_5 N_5 \quad (36)$$

Con lo cual podemos sustituir $\lambda_5 N_5$ de la ecuación (36) en la ecuación (34) y obtener de esa forma una nueva estimación de la actividad del ^{238}U , usando los datos experimentales del pico de 186 keV. Si la hipótesis de proporción natural, indicada por la ecuación (35), es cierta, deberíamos obtener la misma actividad de ^{238}U que analizando otros picos característicos de su cadena y que no tienen contaminación. Si ambos resultados coinciden, podríamos asegurar que la proporción $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ es la natural y por la tanto que el uranio presente en la muestra no ha sufrido procesos de enriquecimiento o empobrecimiento.

4.2.Situación 2: Presencia de uranio soportado e inyectado

En esta situación tenemos en cuenta el uranio soportado por el terreno y también el uranio que se haya añadido como contaminante, uranio no soportado o inyectado. Suponemos que se ha contaminado con uranio natural, de modo que el uranio inyectado contará con presencia de ^{238}U y ^{235}U , en la proporción natural. Debido a la magnitud del periodo de semidesintegración del ^{238}U , entendemos que la actividad de ^{238}U inyectado no afectará al pico de ^{226}Ra de 186.1 keV. En cambio, la actividad de ^{235}U sí aparecerá en el pico del ^{226}Ra a la energía de 186.1 keV, ya que dicho contaminante presenta su pico de 185.7 keV en su primer decaimiento al ^{231}Th . Teniendo esto en cuenta la ecuación (34) da lugar a la ecuación (37)

$$c_n(E_\gamma) = \varepsilon(E'_\gamma)\lambda_8 N_8 P_8(E'_\gamma) + \varepsilon(E_\gamma)\lambda_5 N_5 P_5(E_\gamma) + \varepsilon(E_\gamma)\lambda_5 N'_5 P_5(E_\gamma) \quad (37)$$

Donde denoto con N' a la cantidad contaminante del isótopo correspondiente que afecta a nuestro pico en estudio. De la ecuación (35) todos los parámetros nos son conocidos a excepción de la actividad de ^{235}U inyectado, pudiendo calcularlo fácilmente despejando (36). En (37) la actividad de ^{238}U -y la de ^{235}U usando la ecuación (36)-soportados se puede obtener, como ya hemos dicho, de otros picos que no sufren contribución de otras energías (como son el ^{214}Pb y el ^{214}Bi).

Además, tenemos a disposición dos picos pertenecientes al primer descendiente del ^{238}U , el ^{234}Th (63.3 keV y 92.6 keV), pudiendo con estos datos calcular la presencia de ^{238}U total, y obtener el inyectado, $\lambda_8 N'_8$, como la diferencia entre el total y el soportado (calculado este último en el apartado 4.1).

Finalmente, como comprobación de que el uranio inyectado es uranio natural, podemos hacer el cociente entre las actividades de uranio inyectado por medio de (38):

$$\lambda_8 N'_8 = \lambda_5 N'_5 \frac{\lambda_8 N'_8}{\lambda_5 N'_5} \approx 21.6 \cdot \lambda_5 N'_5 \quad (38)$$

5. Método Experimental

5.1. Calibrado detector HPGe

El calibrado en energías realizado por el software del detector ha sido desarrollado utilizando fuentes radiactivas con las energías que presentamos en la Tabla 1.

Isótopo	Energía / keV
²⁰⁷ Bi	569.702
	1063.501
⁶⁰ Co	1173.237
	1332.501
¹³⁷ Cs	661.66
²⁴¹ Am	59.537
²² Na	1374.53
⁴⁰ K	1460.85
^{116m1} In	138.326
	416.86
	818.7
	1097.3
	1293.54
	1507.4
	2112.1

Tabla 1. Isótopos utilizados por el software del detector para la calibración del equipo.

Con el fin de asegurarnos de la buena calibración de la eficiencia absoluta del equipo, descrita en la ecuación (13), se utilizó la muestra IAEA-RGU-1 de 50 g (Actividades: ²³⁸U = 4940 Bq/kg; ²³⁵U = 228 Bq/kg), fijándonos en las energías de los picos presentes en la Tabla 2.

Isótopo	Energía / keV	Probabilidad / %
²²⁶ Ra	186.1	0.07
²¹⁴ Pb	241.9	7.50
	245.2	18.50
	351.99	38.50
²¹⁴ Bi	609.3	44.81
	768.4	4.88
	934.0	3.03
	1120.4	14.08
	1238.8	5.86
	1377.6	3.92
	1764.6	15.9
	2204.9	4.86
²³⁵ U	143.8	10.9

Tabla 2. Isótopos estudiados para el calibrado del detector de HPGe.

5.2. Medición Sedimentos

La medición de las actividades de las diferentes capas de sedimentos fue realizada con la inserción de los envases presentes de la Figura 15 en el detector de HPGe, dejando que la medida se realizase durante 24 horas.

Para conocer el efecto que había tenido el fondo sobre las medidas, se procedió a la colocación y posterior medición de un envase equivalente a los presentes en la Figura 14, pero sin contenido de ningún sedimento. En el Apéndice II se presentan los datos obtenidos por el Analizador Multicanal (MCA) para tres casos: la muestra más superficial, el fondo, y la muestra de calibrado IAEA-RGU-1 de 50 g (Actividades: $^{238}\text{U} = 4940 \text{ Bq/kg}$; $^{235}\text{U} = 228 \text{ Bq/kg}$).

5.3. Medición de la Densidad de Sedimentos

Como se ha mostrado en la explicación del modelo CRS, es necesario conocer la densidad de las diferentes capas de sedimento (ecuaciones (24) y (31)). Buscando dichos datos, se procedió a la realización de los siguientes pasos:

- Medición de la masa de cada capa de sedimento. Este proceso se realizó tarando la balanza para cada recipiente en introduciendo cada capa de sedimento obtenida tras el corte. Los recipientes con las muestras fueron debidamente etiquetados como se muestran en la Figura 15.



Fig. 15. Conjunto de todas las muestras medidas del testigo extraído en 2016.

- Medida de la altura de los sedimentos. Para este proceso se montó el dispositivo experimental mostrado en la Figura 16 (derecha), con el objetivo de interferir lo mínimo posible con las muestras:

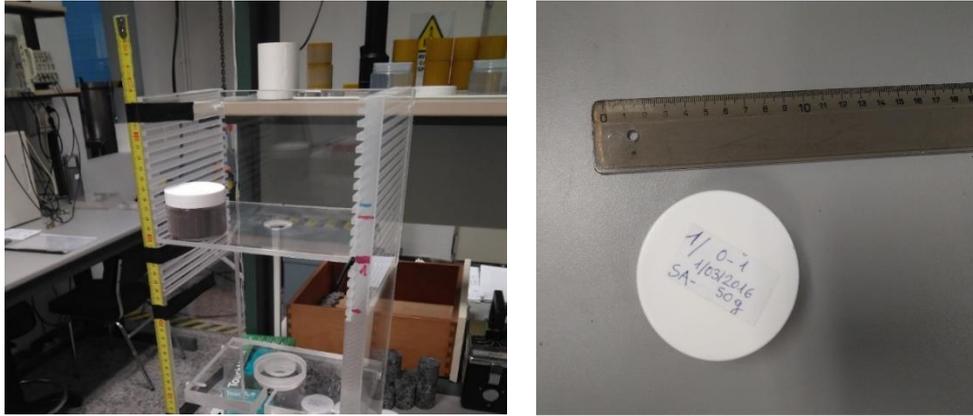


Fig. 16. *Dispositivo experimental para la medida de altura de las capas de sedimentos. Se muestran las dos dimensiones del recipiente, mostrando a la izquierda un metro milimetrado y a derecha una regla milimetrada.*

A razón de que la medida fuese lo más precisa posible, se ajustó el metro de forma que la marca de 20 cm quedase ajustada al fondo del sedimento. Agitando el recipiente suavemente se conseguía rasurar lo máximo posible la muestra para medir la altura del contenido.

- c) Calibrado altura-volumen. Dado que necesitamos el valor del volumen de sedimento presente, necesitamos hacer una curva de calibrado para relacionar la altura del sedimento con el volumen que ocupa. Para ello se utilizaron 5 recipientes de las mismas dimensiones que los mostrados en la Figura 14 con diferentes volúmenes de agua (10, 20, 30, 40 y 50 ml). La medición de la altura se realizó con papel milimetrado con el objetivo de ser lo más precisos posible.

Conocidas las alturas de cada capa, se obtenía el volumen presente haciendo uso de la recta de calibrado. Dividiendo la masa entre el volumen se obtuvo la densidad de cada capa. Representando los datos obtenidos de las densidades en función de la profundidad obtenemos la Figura 16, donde puede verse un aumento de la densidad de los sedimentos a medida que aumenta su profundidad, es decir un efecto de compactación del sedimento, como era de esperar.

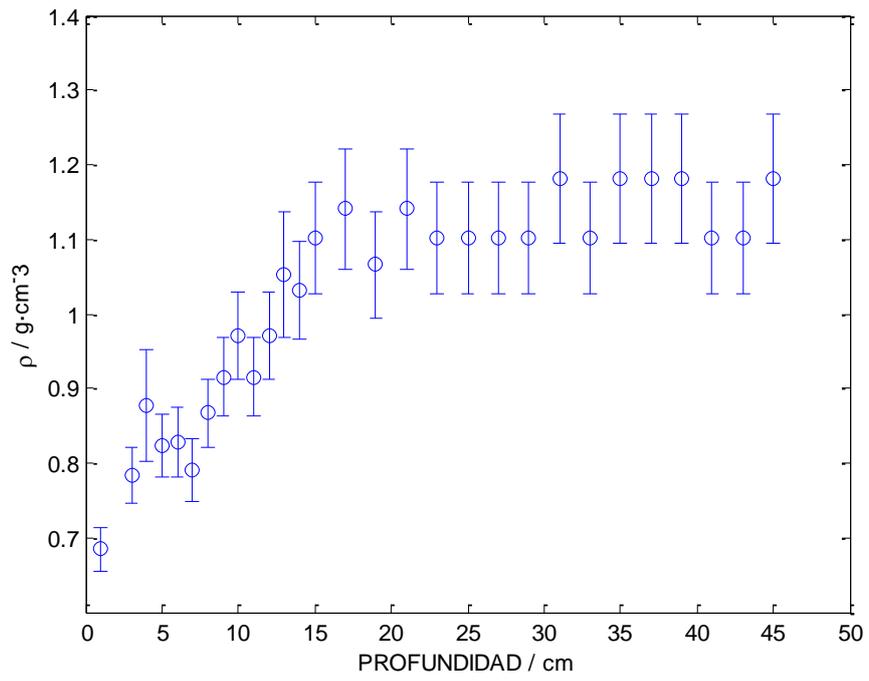


Fig. 17. Densidades de cada capa de sedimentos en función de la profundidad.

6. Resultados

Los datos obtenidos de los sedimentos a partir del detector de HPGe fueron extraídos de los ficheros de texto generados por el ordenador, a partir de un programa escrito en MATLAB, que hemos denominado ProgramaDatos2016.m y que listamos en Apéndice I. Dicho programa, además de la lectura, se ha ocupado del tratamiento de dichos datos:

- Calcular Actividad Específica, como resta de la actividad de la muestra y del fondo dadas por sus ficheros de datos y aplicando el resultado a (13).
- Cálculo de errores, por medio, en todo momento, de propagación de errores por suma en cuadratura (38); partiendo en todo momento de los errores dados por los ficheros:

$$\Delta f(x_1, x_2, \dots) = \sqrt{\sum_i^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i \right)^2} \quad (39)$$

A continuación se van mostrar los resultados claves de este estudio.

6.1. Calibrados

En primer lugar se presenta el calibrado canales-energía realizado para los 8192 canales disponibles (Figura 18). Los isótopos utilizados para este calibrado son los presentados en la Tabla 1. Haciendo uso de la Ecuación (14) llegamos al mejor ajuste de los datos, dando como resultado la ecuación (40).

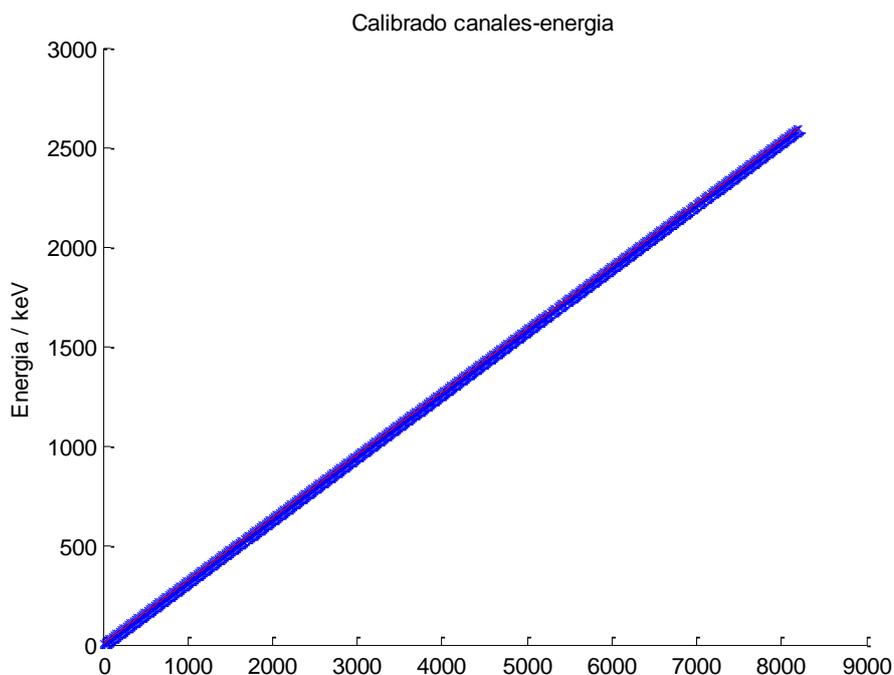


Fig. 18. Gráfica que muestra el calibrado de canales a energía.

La ecuación de calibrado es la que sigue:

$$E = a + b \cdot ch + c \cdot ch^2 - d \cdot ch^3 + f \cdot ch^4 - g \cdot ch^5 \quad (40)$$

Siendo E la energía, ch el canal y a, b, c, d, f y g son coeficientes con valores:

$$a = 1.7356; b = 0.315904; c = 3.2692 \cdot 10^{-7} \\ d = 1.043 \cdot 10^{-10}; f = 1.134 \cdot 10^{-14}; g = 3.7871 \cdot 10^{-19}$$

En segundo lugar, presentamos el calibrado en eficiencia del detector de HPGe. Para dicho ajuste se han utilizado dos muestras de 50 g: IAEA-RGU-1 (Actividades: ^{238}U = 4940 Bq/kg; ^{235}U = 228 Bq/kg) y IAEA-RGTh-1 (Actividades: ^{238}U = 78 Bq/kg; ^{232}Th = 3250 Bq/kg; ^{235}U = 3.6 Bq/kg). Haciendo uso de la ecuación (14) llegamos al mejor ajuste de los datos, obteniendo los datos presentados en la Figura 19 y detallado en la ecuación (41).

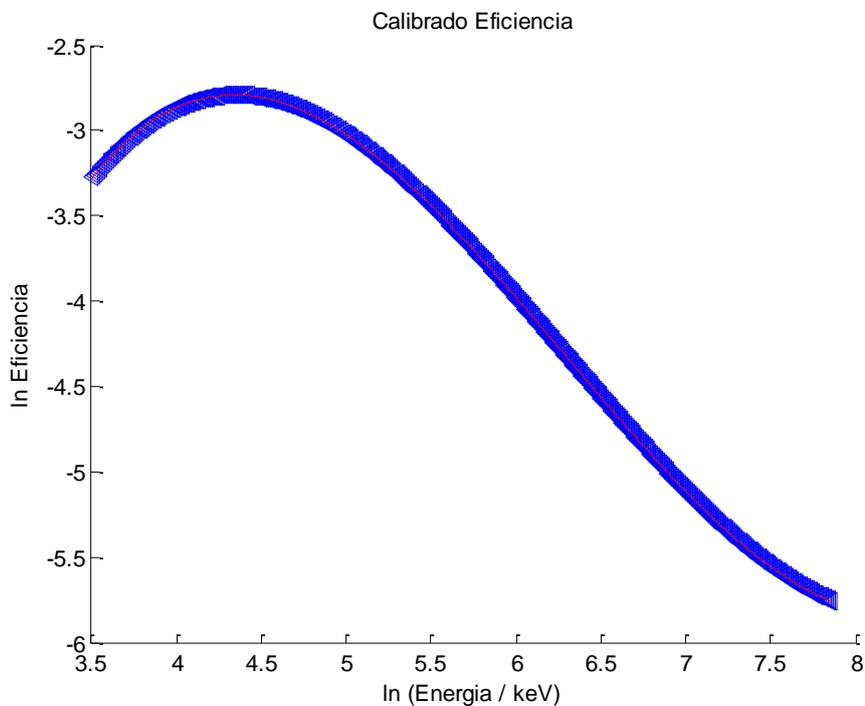


Fig. 19. Curva de calibrado en eficiencia del detector.

El calibrado en eficiencia del detector se obtiene gracias a:

$$\ln(\varepsilon) = a \cdot \ln(E)^3 - b \cdot \ln(E)^2 + c \cdot \ln(E) - d \quad (41)$$

Donde ε es la eficiencia, E la energía y el resto de incógnitas son coeficientes del calibrado, a saber:

$$a = 0.1031; b = 1.946; c = 11.07; d = 22.61$$

6.2. Actividad vs Profundidad

La datación del testigo, como ya hemos mencionado en secciones anteriores, depende de la presencia de ^{210}Pb en el sedimento, concretamente de plomo en exceso.

Debido a ello, se procedió a representar gráficamente la actividad del ^{210}Pb (sin discriminar si era en exceso o soportado) y otros elementos pertenecientes a la cadena del ^{238}U , caracterizándose estos últimos por no poder tener aporte externo de forma equivalente a la del ^{210}Pb , ya que son elementos formados anteriormente al ^{210}Pb (ver Figura 3) y son los de mayor probabilidad. Dichos elementos se representan en la Figura 20.

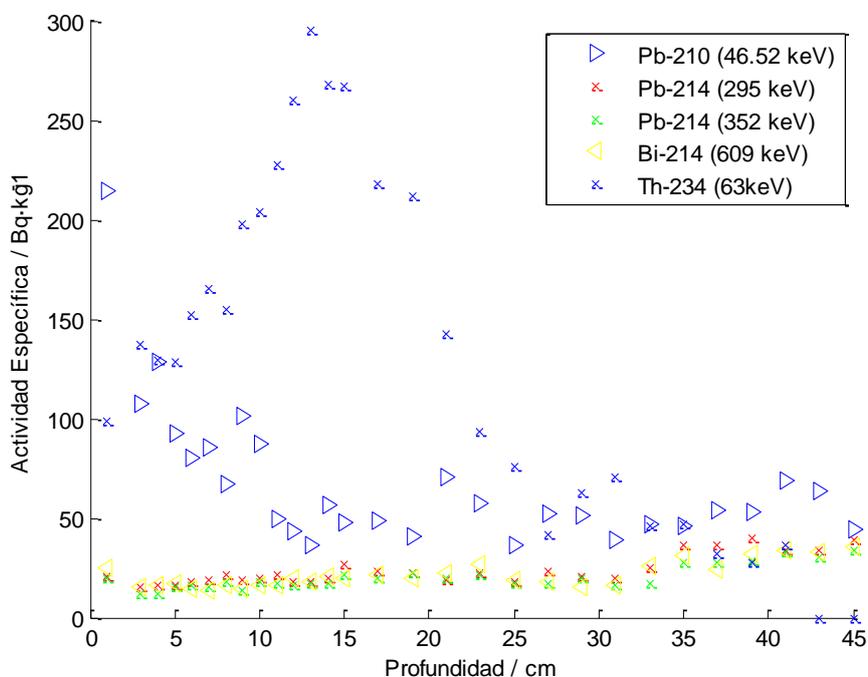


Fig. 20. Actividades de los diferentes elementos de la cadena del ^{238}U que nos permitirían medir la actividad en exceso de ^{210}Pb .

Como se puede observar en la Figura 20, las actividades pertenecientes a ^{214}Pb y ^{214}Bi se mantienen constantes con la profundidad, indicio de encontrarse en equilibrio secular. Por otro lado, tanto las actividades correspondientes a ^{234}Th y ^{210}Pb presentan un comportamiento no constante. Dicho comportamiento era el esperado en el caso del ^{210}Pb y podremos aplicar los dos modelos de datación. En el caso del ^{234}Th no es lo esperado, ya que debería comportarse de forma análoga a los otros isótopos en equilibrio secular, y la presencia de ese pico en la concentración nos llevó a estudiar la posible contaminación de las muestras por la presencia de uranio.

El cálculo de la actividad en exceso de ^{210}Pb se realizó midiendo las actividades de ^{214}Pb y ^{214}Bi de cada profundidad y restándosela a cada valor correspondiente de actividad de ^{210}Pb .

Al realizar el estudio intensivo de las actividades de los diferentes picos de energía captados con el detector HPGe, se observó que no sólo el ^{234}Th presentaba un comportamiento no esperado. Dichos picos se presentan a continuación, en las Figuras 21, 22 y 23.

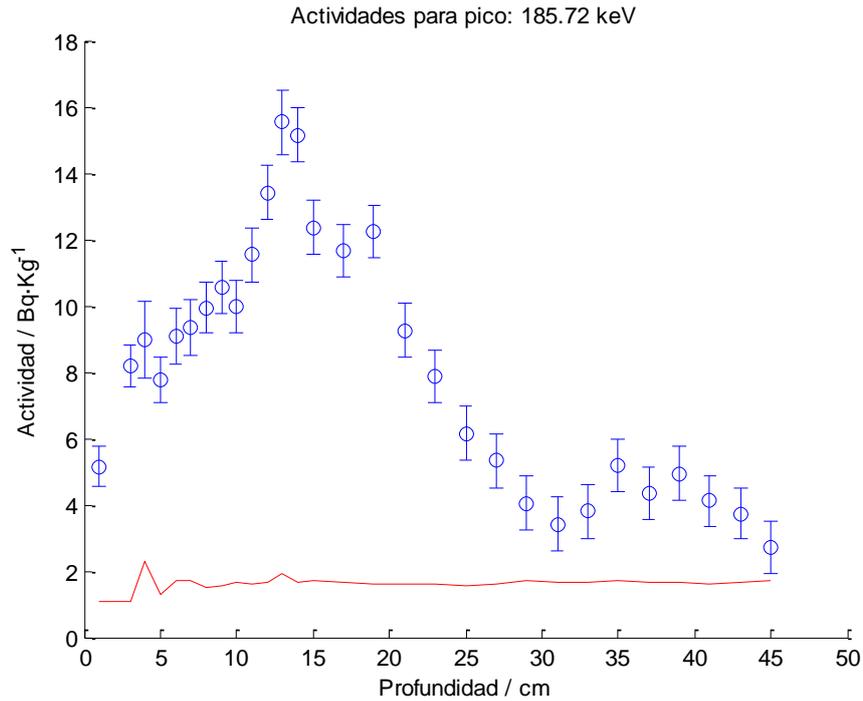


Fig. 21. Actividad en función de la profundidad del pico de 185.72 keV procedente del ^{235}U con contribución del pico de 186.1 keV del ^{226}Ra . En rojo se muestra la MDA correspondiente.

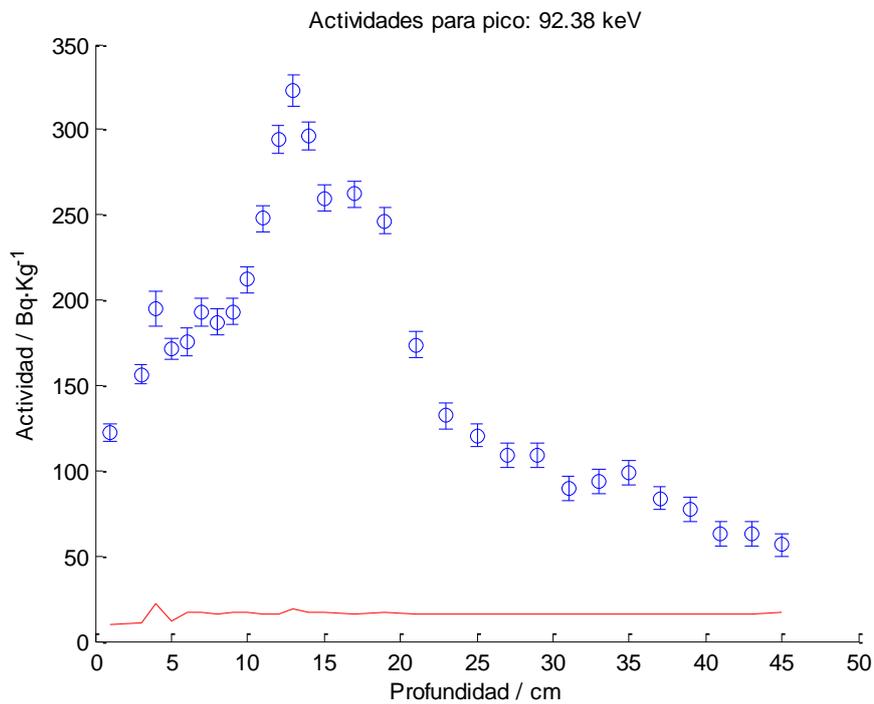


Fig. 22. Actividad en función de la profundidad del pico de 92.38 keV procedente del ^{234}Th , perteneciente a la cadena del ^{238}U . En rojo se muestra la MDA correspondiente.

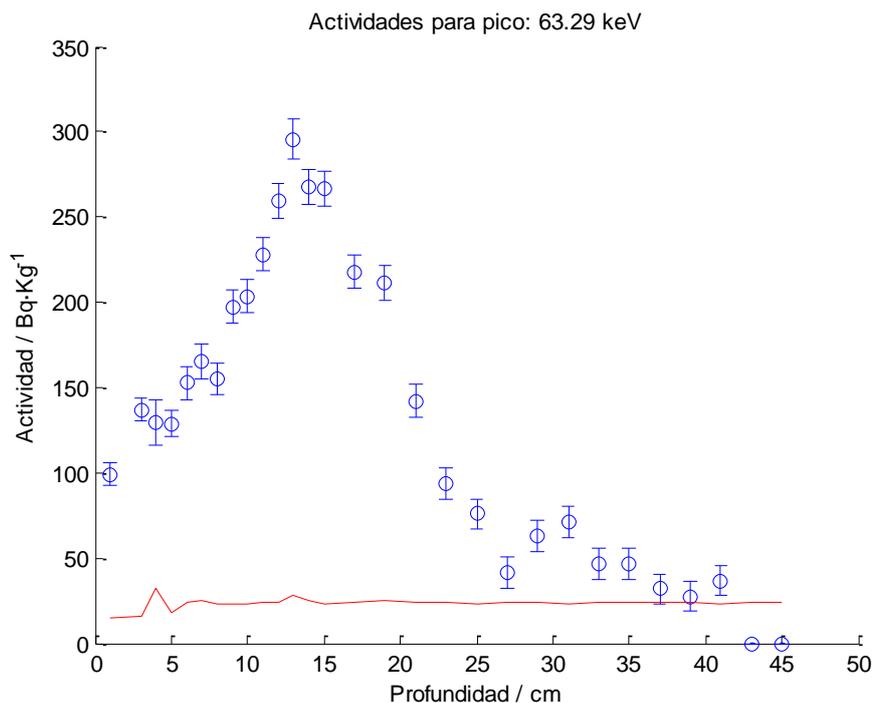


Fig. 23. Actividad en función de la profundidad del pico de 63.29keV procedente del ^{234}Th , perteneciente a la cadena del ^{238}U . En rojo se muestra la MDA correspondiente.

Como podemos observar, la actividad de estos picos (Figuras 21, 22 y 23) se ve incrementada en la misma franja de profundidades. Habría sido de esperar que estos picos presentasen la misma actividad, ya que el uranio se encuentra de forma natural en el suelo a proporciones bajas, presente desde hace mucho tiempo y en proporción natural, de modo que cada cadena debería estar en equilibrio secular.

Debido a la presencia de estos picos de actividad tan localizados se da a entender que en dichas franjas de profundidad, el sedimento contiene exceso de ^{238}U y ^{235}U producido por algún tipo de contaminación.

6.3. Pico 185.72 keV

Como ya hemos explicado detalladamente en la Sección 4, el pico de 185.72 keV procedente del decaimiento ^{226}Ra al ^{222}Rn (Figuras 3 y 7) tiene contribución debida al decaimiento del ^{235}U , suceso que nos ha llevado a la realización de todo un desarrollo matemático con la intención de poder discernir cuánto del espectro de actividades de la Figura 20 es debido a la actividad de la cadena del ^{238}U soportado y cuánto a la actividad del ^{235}U inyectado.

Debido a esto, procedemos a calcular las respectivas actividades y presentarlas a continuación:

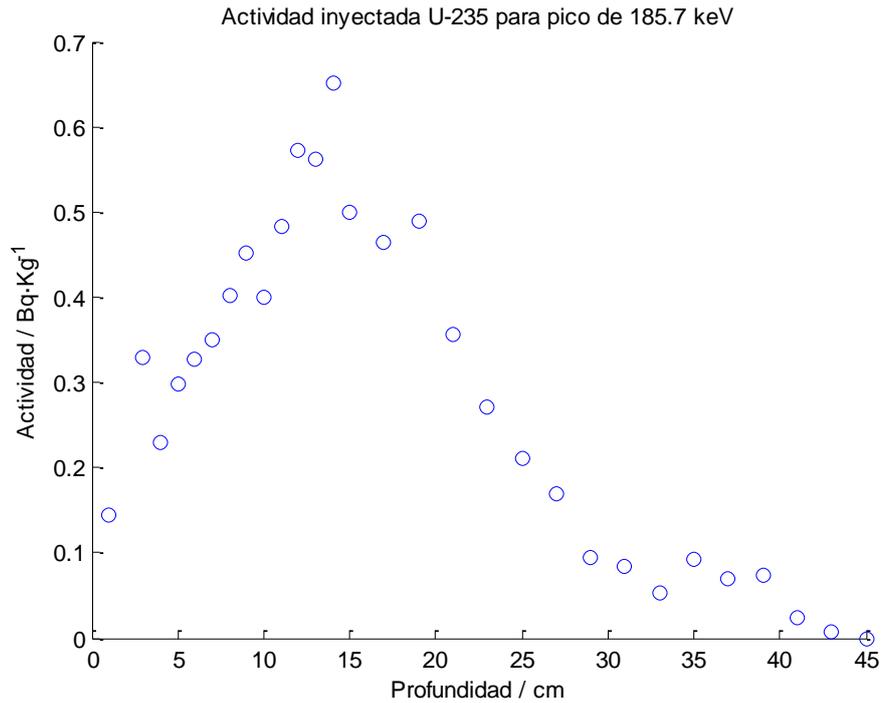


Fig. 24. Actividad específica en función de la profundidad para ^{235}U inyectado obtenido del pico de 185.7 keV tras haber aplicado la Ecuación (37).

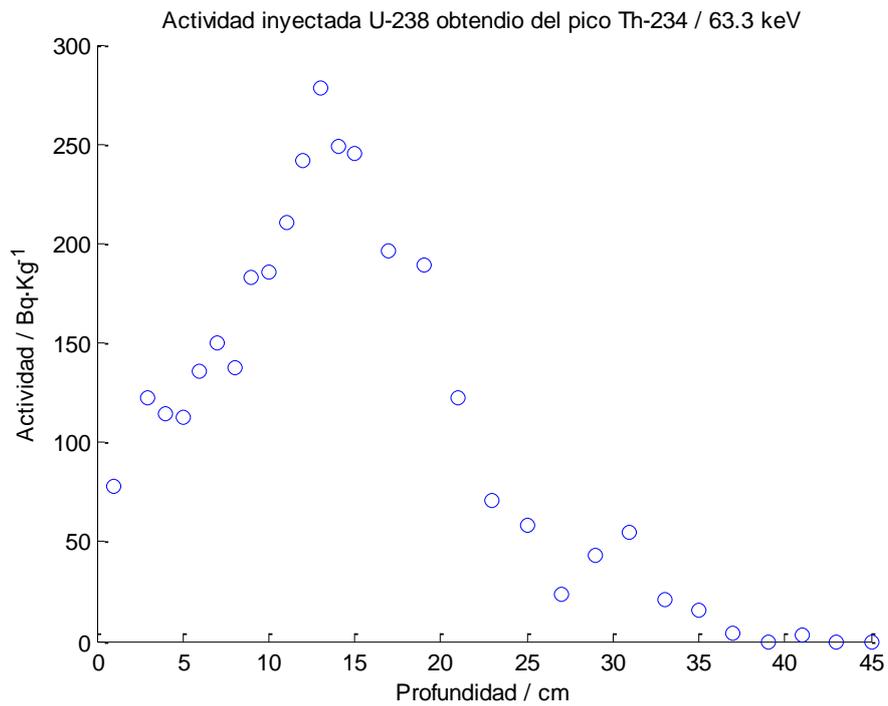


Fig. 25. Actividad específica en función de la profundidad para ^{238}U inyectado calculado a partir del pico perteneciente al ^{234}Th de 63.3 keV.

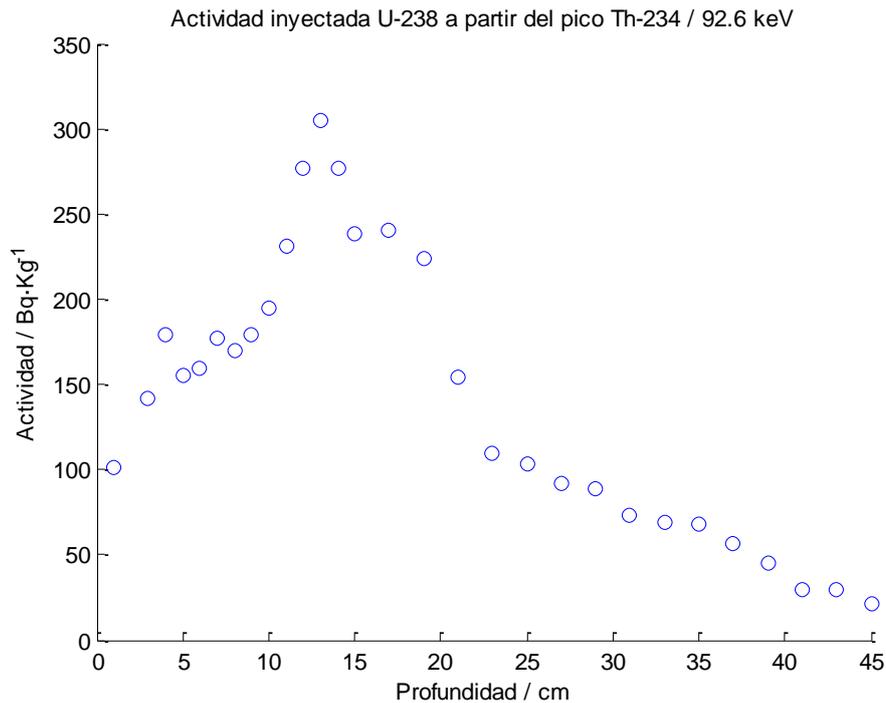


Fig. 26. Actividad específica en función de la profundidad para ^{238}U inyectado calculado a partir del pico perteneciente al ^{234}Th de 92.6 keV.

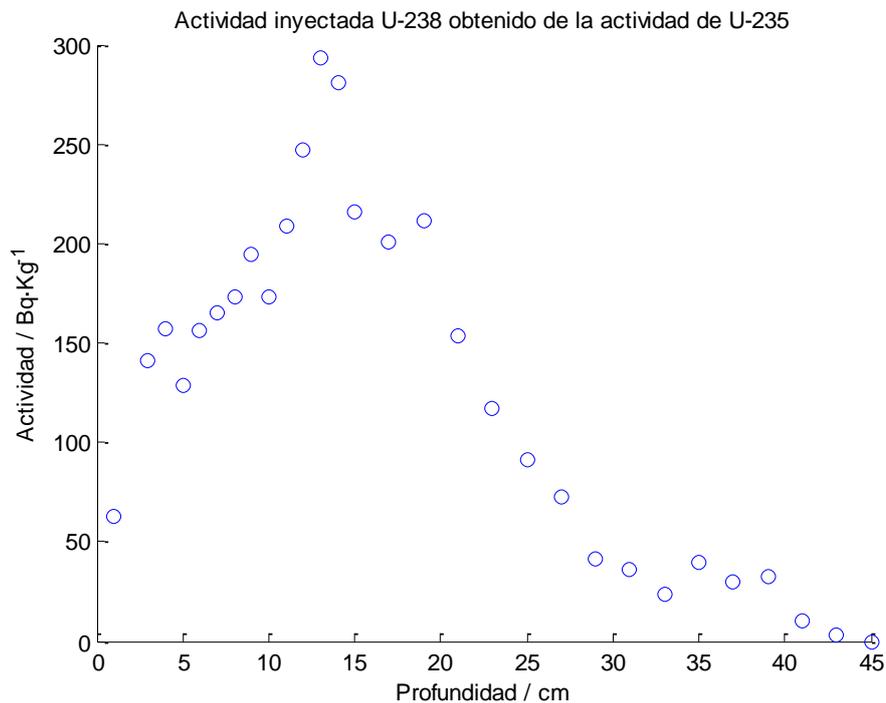


Fig. 27. Actividad específica en función de la profundidad para ^{238}U inyectado calculado a partir de la actividad de ^{235}U haciendo uso de la proporción natural (38).

Las Figuras 25 y 26 muestran las actividades de ^{238}U habiendo eliminado adecuadamente la señal que proporcionaba la actividad de ^{238}U soportado, por medio de los valores de las actividades de ^{214}Pb y ^{214}Bi . La Figura 27 muestra la actividad de ^{238}U habiendo aplicado (38).

Como puede observarse, la Figura 27 muestra los valores de actividad en rangos muy semejantes a los mostrados en las Figuras 25 y 26. Sobre todo en los datos enmarcados de 5 a 20 cm de profundidad, coincidiendo en el máximo de actividad tanto de ^{238}U como ^{235}U . Este hecho nos permite asegurar que estamos ante uranio natural.

6.4. Datación CIC

6.4.1. Edad de Sedimentos

A continuación se muestra la datación realizada con el modelo CIC de cada capa de sedimento estudiada. Estos resultados se han obtenido gracias a haber aplicado la ecuación (20).

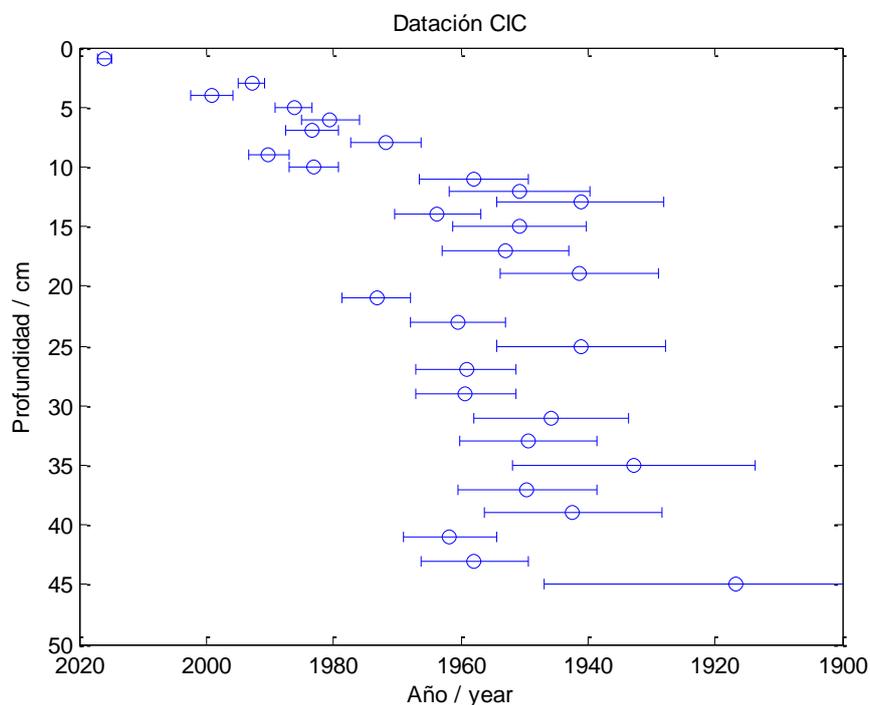


Fig. 28. Gráfica representando la datación de cada capa de sedimento estudiada.

Obsérvese que con este modelo se obtienen resultados en los cuales parece reflejar que capas más profundas del sedimento se han formado más recientemente que capas más externas. Aun así, se observa la clara tendencia de que cuanto más profundo es el sedimento, más antiguo es. Aún dentro de las grandes incertidumbres en la datación, pueden distinguirse dos regiones: Desde la actualidad hasta 1950, observándose la esperada correlación entre profundidad y edad, donde la edad de los sedimentos aumenta con la profundidad. Por otro lado, los sedimentos más profundos (a partir de 12 cm) parecen haberse acumulado de forma repentina en fechas ligeramente posteriores a 1940. Sería necesario, como veremos en las siguientes discusiones, poder establecer una correlación con comportamientos climáticos (sequías, inundaciones) o actividad humana (desechado y relleno de zonas de marisma).

6.4.2. Velocidad de Sedimentación

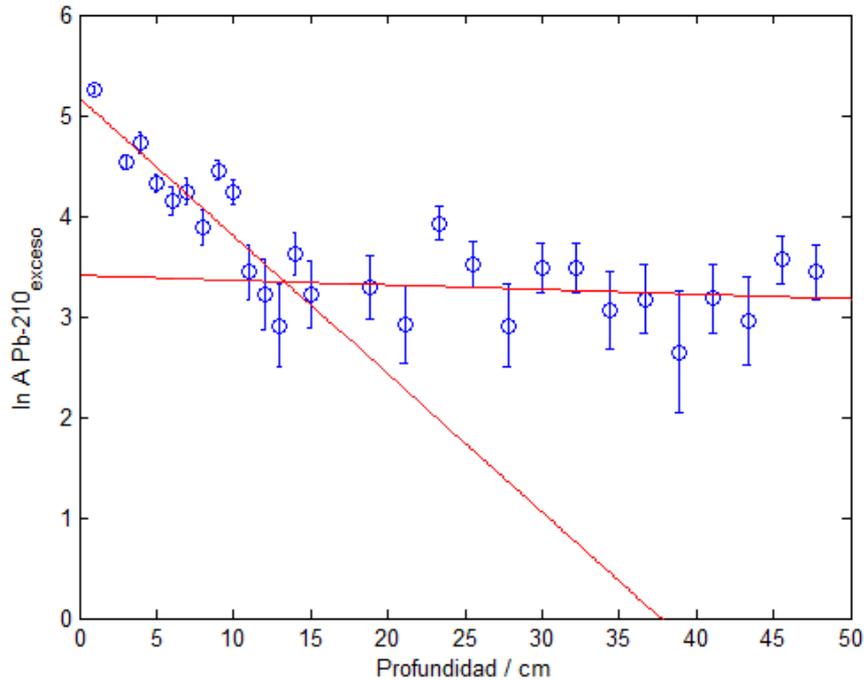


Fig. 29. Logaritmo natural de la actividad de ²¹⁰Pb en exceso frente a la profundidad. En rojo se muestra una recta de ajuste lineal a los datos.

En la Figura 29 se pueden ver dos pendientes claramente diferentes. La primera correspondería al dominio de profundidades 1-9 cm, mientras que el segundo dominio sería desde 10 hasta el final. Haciendo uso de la ecuación (21), obtenida para el modelo CIC, sobre los datos presentados en la Figura 29 obtenemos 2 pendientes que nos dan dos velocidades de sedimentación:

$$-\frac{\lambda}{s_1} = -0.13724 \rightarrow s_1 = 0.23 \pm 0.01 \text{ cm} \cdot \text{y}^{-1}$$

$$-\frac{\lambda}{s_2} = -0.0052007 \rightarrow s_2 = 5.96 \pm 0.01 \text{ cm} \cdot \text{y}^{-1}$$

Valores de velocidad que concuerdan con los datos mostrados en la Figura 28. Esto es así debido a, como se puede observar, los sedimentos entre el fondo y 15 cm se forman en un espacio de tiempo menor que el requerido para que se formasen las capas de sedimento desde los 15 cm hasta la actualidad.

6.5. Datación CRS

6.5.1. Edad de Sedimentos

A continuación se muestra la datación realizada con el modelo CRS de cada capa de sedimento estudiada. Estos resultados se han obtenido gracias a haber aplicado la ecuación (30).

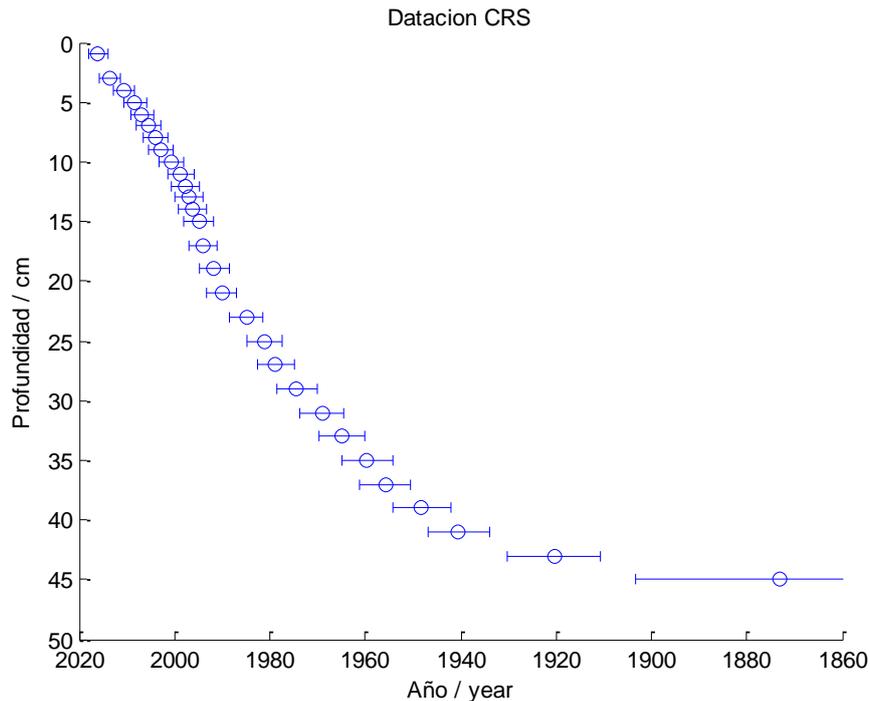


Fig. 30. Gráfica representando la datación de cada capa de sedimento estudiada.

Tal y como puede observarse, el comportamiento esperado es muchísimo más acentuado y fiable (debido a la menor incertidumbre de las medidas) aplicando este modelo. Además, al contrario del modelo CIC, el modelo CRS muestra de forma mucho más realista la datación, dando a cada profundidad un año de formación más antiguo que la capa más superficial. Tal y como he comentado, este método es más razonable para el tipo de ambiente sedimentario en el que se ha extraído la muestra, una zona de transición que con frecuencia debe estar sometida a cambios en la sedimentación e incluso, alternando con episodios de erosión.

Una vez que hemos datado en este modelo la edad de los sedimentos, podemos también datar los picos encontrados en la contaminación por uranio natural, Figuras 24, 25, 26 y 27. Sin embargo, de acuerdo con el modelo CIC la profundidad de 15 cm estaría datada en los años 1960. Por supuesto, creemos que el modelo CRS es más preciso a la hora de datar las capas de sedimentos. Dichos picos aparecían a la profundidad aproximada de 15 cm, por lo que deberíamos asignarles el año 1990 aproximadamente para el momento en que se depositó el uranio en esta zona de sedimentación.

6.5.2. Velocidad de Sedimentación

A raíz de los datos obtenidos mediante el modelo CRS somos capaces de calcular y asignar la velocidad de sedimentación sufrida por cada capa de sedimento en función del tiempo, es decir aquella con la que se acumularon los sedimentos a cada profundidad, tal y como se muestra en la siguiente figura, tras haber aplicado la ecuación (31):

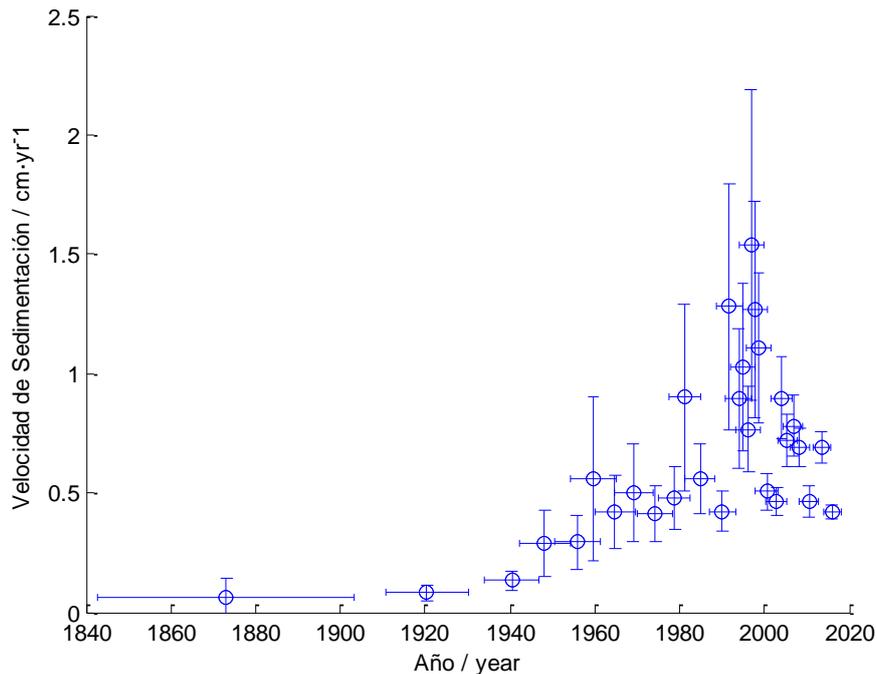


Fig. 31. Gráfica representando la velocidad de sedimentación de cada capa estudiada en función del año de formación.

El comportamiento mostrado por la velocidad de sedimentación podría ser explicado mediante la alta actividad humana presente en la zona durante en fechas inmediatamente anteriores al año 2000, fechas en las cuales hubo un aumento de la actividad constructiva. La disminución de la velocidad desde entonces hasta la actualidad indicaría una reducción de actividades humanas que implican un mayor aporte de sedimentos (en los últimos años se ha reducido la actividad constructiva con una tendencia hacia la conservación del humedal). Creemos necesario establecer una comparación al menos con datos climáticos para esa región: lluvias, riadas, sequías, incendios, y con posibles procesos de desecado y relleno de zonas de marisma o encharcadas. Por ejemplo el pico en la velocidad de sedimentación a finales de los años 1990 podría deberse a fuertes riadas en la región que hubieran supuesto gran arrastres de lodos. El decremento presentado al final sería un intento de normalización del propio sistema [I] [II] [III] [IV].

Indicar que incluso para las capas más superficiales, sedimentos más recientes, las velocidades obtenidas con este modelo CRS son ligeramente mayores que la velocidad promedio estimada en el modelo CIC, que resultó ser solamente de 0.82 cm/y, lo que indica lo inadecuado de las hipótesis del modelo CIC.

6.6. El pico de 661.62 keV; ¹³⁷Cs

Finalmente, es interesante estudiar la datación de los sedimentos utilizando como trazador el ¹³⁷Cs. En la Figura 32 se muestra su actividad en función de la profundidad del sedimento. Como se puede observar, nos encontramos durante nuestro estudio muestras con actividad únicamente presente en las capas más externas (de 1 a 10 cm), localizando su máximo entorno a los 5 cm de profundidad. Según el modelo CIC, lo máximo que podemos retroceder es a 1983, mientras que el modelo CRS nos permite

retroceder hasta 2001. Dichos valores de datación no concuerdan con los datos presentados en la Figura 12.

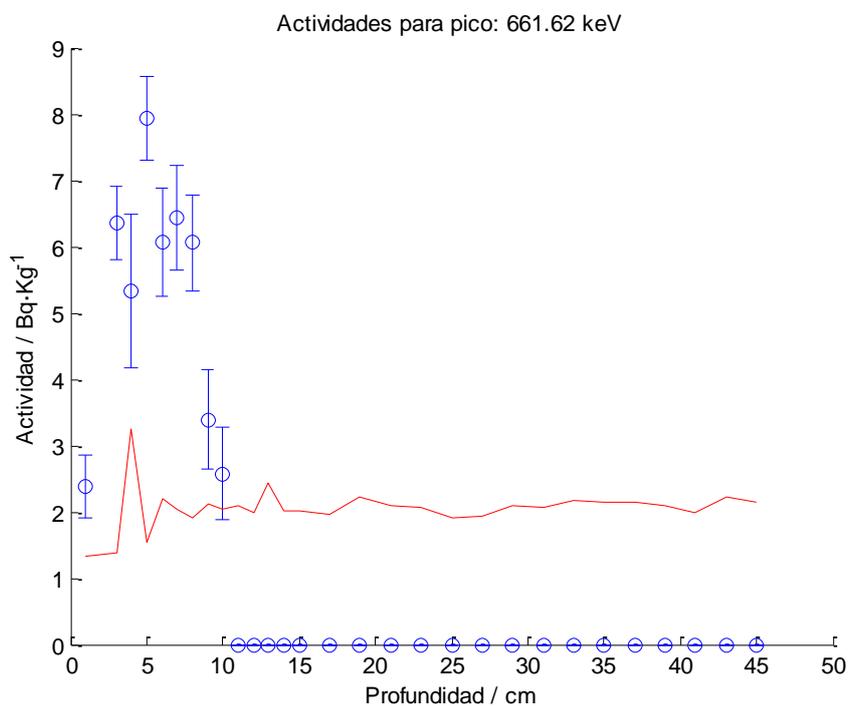


Fig. 32. Actividad pico 661.62 keV perteneciente al ^{137}Cs en función de la profundidad.

7. Conclusiones

Finalmente, el trabajo realizado permite sintetizar las siguientes conclusiones finales.

Comenzando con la meta principal de este trabajo, la datación de sedimentos, podemos decir que el modelo CRS (Ritmo de Aporte Constante) consigue darnos una datación mucho más creíble que la ofrecida por el modelo CIC (Concentración Inicial Constante). Además, como ya hemos mencionado en la Sección 6.4., la datación dada por el modelo CIC ofrece resultados en los que capas más internas del sedimento se han formado más cerca de la actualidad que otras capas más externas, lo que hace pensar que este modelo no es del todo indicado para la datación de sedimentos, al menos no de aquellos que estén en capas muy profundas y en ambientes sedimentarios como los de este trabajo. De este modo, gracias al modelo CRS somos capaces de datar los sedimentos hasta llegar a 1872 ± 32 años.

Por otro lado, las velocidades de sedimentación, dadas por el modelo CRS, aumentan con el tiempo, sobre todo entre los años (ver Figura 30) 1960 – 2000. Se observa un máximo de velocidad de sedimentación de 1.5 ± 0.7 cm yr⁻¹ correspondiente al año 1997, valor compatible con el mostrado en [11]. Como ya se ha mencionado, este comportamiento de la velocidad de sedimentación puede ser debido a la gran actividad antropogénica presente en la zona, sobre todo en los años marcados por el máximo de sedimentación, debido a diversos movimientos de tierra producidos con la intención de conmatar los humedales permitiendo así la habitabilidad de la zona y su desarrollo [I] [II] [III] [IV].

Subrayar que en la Figura 30 se muestra una gran pendiente en la curva de datación entre los años 1960-2000, tendiendo a reducirse desde el año 2000 a la actualidad. Dicho comportamiento guarda estrecha relación con la velocidad de sedimentación (ver Figura 31), la cual presenta un marcado aumento en la misma franja de años, de 1960 al 2000, y un posterior decremento en su valor correspondiendo con los años marcados desde el 2000 hasta la actualidad.

Los datos mostrados por [7] nos permiten comparar los resultados mostrados en las Figuras 22, 23, 25 y 26 con valores de actividad de uranio en suelos y diferentes tipos de rocas. El estudio de suelos muestra que el radioisótopo ²³⁸U presenta una actividad de 26 Bq / kg. Según este estudio, las rocas ígneas ricas en óxidos de sílice presentan actividades: U = 111 Bq/kg, sedimentarias, 14.8 Bq/kg. Como se puede observar comparando nuestros resultados con los datos presentados en [7], la actividad que presentan los sedimentos aquí estudiados para uranio es muy superior al presente en rocas y suelos de forma natural. Debido a esto, queda determinado que dicho sedimento ha sufrido contaminación por uranio artificial.

Tal y como se ha señalado en la Sección 6.3., hay una gran concordancia de datos entre la Figura 27 y los datos representados en las Figuras 25 y 26, marcando un mayor parecido para los valores encontrados desde los 5 a los 20 cm de profundidad. Dado que los datos presentados en la Figura 27 se han obtenido haciendo uso de (37), podemos decir que el uranio contaminante presente en el sedimento estudiado se encontraba en proporción natural, por lo que no sufrió ningún tipo de enriquecimiento / empobrecimiento.

Bien la procedencia del contaminante es desconocida, datos mostrados en [11] hacen pensar que su presencia pudo ser debida a una mala gestión de los residuos por parte del Centro Atómico Ezeiza (CONUAR SA), que fue inaugurado en 1960, correspondiendo con el comienzo del aumento de la velocidad de sedimentación y el aumento de la actividad de uranio (Figuras 24 a 27; 35 cm de profundidad equivalen a los años 1960, ver Figura 30). Dicho centro, que se encuentra a 20 km de San Vicente, está dentro de la cuenca del río Matanza y cercano a afluentes que desembocan en la laguna de San Vicente haciendo posible la deposición del uranio en el lago, debido, como se ha dicho, a una mala gestión de dicho elemento. Las numerosas referencias a intentar crear un basurero industrial nuclear en la zona [I] [II] [III] [IV] y los datos mostrados de uranio contaminante en las Figuras 24, 25, 26 y 27 hacen pensar que se quiso regular legalmente la zona como solución a la contaminación ya presente.

Para finalizar, es de gran interés el análisis de la actividad del ^{137}Cs . Como se ha dicho en las Secciones 3.1.2 y 6.6, la datación de dicho por medio de dicho elemento en los sedimentos es un buen método comprobante de si la datación realizada es correcta. Como ya se ha discutido en la Sección 6.6, la datación del ^{137}Cs no es la esperable, ya que era deseable una datación, lo más temprana posible, del año 1965 aproximadamente (Figura 12). A la vista de este resultado nos vemos en la tesitura de poder o no creernos nuestras dataciones por medio de nuestros modelos trabajados.

La concordancia de nuestros datos con los datos bibliográficos [11] [I] [II] [III] [IV], nos hace poder estar seguros de haber realizado una datación aceptable de los sedimentos. Esto nos lleva a plantearnos el origen de la presencia de ^{137}Cs en sedimentos tan cercanos de la superficie, o lo que es lo mismo: ¿A qué se debe tener sedimentos “recientes” con presencia de ^{137}Cs ? Realizar estudios más exhaustivos de la zona sería lo más recomendable para hallar su origen.

Bibliografía

- [1] **Argonne National Laboratory, EVS**, *Natural Decay Series: Uranium, Radium, and Thorium*, Human Health Fact Sheet, August 2005.
- [2] **Ane García Artola, Alejandro Cearreta and María Jesús Irabien**, *Recent Agricultural Occupation and Environmental Regeneration of Salt Marshes in Northern Spain*, July-2017.
- [3] **Argonne National Laboratory, EVS**, *Natural Decay Series: Uranium, Radium, and Thorium*, Human Health Fact Sheet, August 2005.
- [4] **Charles W. Holmes**, *Short-Lived Isotopic Chronometers-A Means of Measuring Decadal Sedimentary Dynamics*, U.S. Geological Survey, Department of the Interior, 1998.
- [5] **Custidiano, Ernesto R., Ricciardi, Eduardo J., Busso, Arturo J. , Custidiano Secchi, Adolfo E.**, *Detección de Radiación Gamma con Diodos Semiconductores*, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. UNNE, Argentina.
- [6] **F. Zapata, E. García-Agudo**, *Future prospects for the ¹³⁷Cs technique for estimating soil erosion and sedimentation rates*, Acta Geológica Hispánica, v. 35 (2000), nº 3-4, p. 197-205.
- [7] **Gunter Faure**, *Principles of isotope geology*, Second Edition, Ed: John Wiley and Sons, USA, 1986.
- [8] **G. Gilmore**, *Practical Gamma Ray Spectrometry*, 2nd Edition, 2008.
- [9] **Glen F. Knoll**, *Radiation Detection and Measurement*, 3rd Edition.
- [10] **J. A. Sanchez-Cabeza, I. Ani-Ragolta and P. Masqué** (2000), *Some considerations of the ²¹⁰Pb constant rate of supply (CRS) dating model*, Limnology and Oceanography. 45, 990-995
- [11] **Luis María Forte**, *Tesis Doctoral: Análisis de las variaciones espaciotemporales de los procesos geomorfológicos y los riesgos naturales asociados*, Universidad de Cantabria, Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, Abril 2017.
- [12] **M. J. Irabien, M. Rada, J. Gómez, J. Soto, A. Mañanes, J. Viguri**, *An Assessment of Anthropogenic Impact in a Nature Reserve: the Santoña Marshes (Northern Spain)*, Journal of Iberian Geology 34 (2) 2008: 235-242
- [13] **P. G. Appleby, F. Oldfield**, *Calculation of Lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported Pb-210 to the sediment*, Vol 5, 1-8, Braunschweig 1978.

- [14] **Richard A. Dunlap**, *An Introduction to the Physics of Nuclei and Particles, Appendix B: Properties of Nuclides*, 2004 Brooks/Cole.
- [15] **Richard B. Firestone**, *Table of Isotopes CD-ROM*, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Eighth Edition, Version 1.0, March 1996.

Otras Referencias

- [I] [https://es.wikipedia.org/wiki/San_Vicente_\(Buenos_Aires\)](https://es.wikipedia.org/wiki/San_Vicente_(Buenos_Aires)) (Visitado por última vez el 22/09/2017)
- [II] <https://municipalidaddesanvicente.jimdo.com/historia/> (Visitado por última vez el 22/09/2017)
- [III] <http://www.sanvicente.gob.ar/localidades.html> (Visitado por última vez el 22/09/2017)
- [IV] <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/1274217> (Visitado por última vez el 17/10/2017)

APÉNDICE I

En este primer apéndice se muestra el código MATLAB creado con la finalidad de la lectura y operación de los datos obtenidos (algunos ejemplos de los archivos leídos son mostrados en el APÉNDICE II). Además de una breve descripción antes de presentar cada programa, el código está realizado con comentarios para la mejor comprensión del mismo.

1. ProgramaDatos2016.m

El programa que se muestra a continuación es el programa principal. Dicho programa ha de hacerse funcionar en primer lugar para luego poder aplicar el resto de programas. Aquí se realiza la llamada de los programas de lectura de los datos guardados en ficheros de datos en formatos .lst y .txt y el cálculo de parámetros que necesitan todos los demás programas. A lo largo del código, como se puede observar, se llaman a diferentes funciones desarrolladas para la lectura y cálculos, como se explicará más adelante.

```
%PROGRAMA PRINCIPAL ENCARGADO DE CARGAR LOS DATOS DEL AÑO 2016 DE LAS
%MUESTRAS DE SAN VICENTE, ARGENTINA, Y CALCULAR CIERTOS DATOS
%GENERALES ÚTILES PARA EL RESTO DE PROGRAMAS
clear all
clc
close all
%-----
%Matriz que va a contener todas las profundidades y todos los
elementos
Matriz_D = zeros(30:29:5); %12 elementos, 50 profundidades
Matriz_F = zeros(1:29:5);
canales=1:8192; %vector de los canales presentes en los archivos *.TXT
%-----
%Leemos ficheros introduciendo los valores deseados en Matriz_Valores.
%Desde la segunda fila, se van presentando los elementos presentes en
el archivo lst en orden de aparición en el lst.
%Recordar que n1 es el valor que va a ir cambiando el indice para
buscar uno u otro archivo.
[NombreFichero,Matriz_D] = LectorDeDatos(Matriz_D);
%Matriz datos muestras
[Matriz_F] = LectorFondo(Matriz_F);%Matriz de los datos del fondo
[Matriz_P] = Probabilidades();%Matriz de las diferentes probabilidades

%Se presenta matriz 3-dimensional y matriz 2-dimensional con todos los
%datos necesarios: Matriz_D y Matriz_F
%Explicación Matriz_Valores:
%Matriz_D(1,:,1) = Valores profundidad de los diferentes archivos
%Matriz_D(2,:,1) = Valores pico energía de librería
%Matriz_D(2,:,2) = Actividad / cps
%Matriz_D(2,:,3) = Error_Actividad / cps
%Matriz_D(2,:,4) = MDA
%Matriz_D(2,:,5) = FWHM
%-----
clearvars -except Matriz_D Matriz_P canales Matriz_F
%-----
%a) Dibujamos el espectro (los canales frente a las cuentas obtenidas)
a=1.7356;
b=0.315904;
c=3.2692e-7;
d=1.043e-10;
```

```

f=1.134e-14;
g=3.7871e-19;

Energia=a+b*canales+c*canales.^2-d*canales.^3+f*canales.^4-
g*canales.^5;
%Hemos transformado todos los canales a energía (en keV)

%Damos la posibilidad de dibujar por pantalla los espectros obtenidos
para cada profundidad.
for i=1:size(Matriz_D,2)
    cuentas(i,:)=Matriz_D(2,i,6:end);
end

for i=1:size(Matriz_F,3)-5
    cuentasFondo(1,i) = Matriz_F(2,1,5+i);
end
disp('¿Se quiere representar todos los espectros en canales?')
pregunta=input('Y/N ','s');
hold on
if pregunta=='Y'
    for i=1:29
        figure(i)
        %plot(canales,cuentas(i,23:end),'o')
        plot(Energia(3:end),cuentas(i,3:end),'X')
        %Energia(1:end),cuentasFondo(1,1:end),'b')
        xlabel('Energía / keV')
        ylabel('Cuentas')
        X=['Profundidad: ', num2str(Matriz_D(1,i,1)), ' cm'];
        title(X);
    end
end
hold off
%-----
%Procedemos a restar el fondo de las medidas totales para obtener las
%cuentas netas de las actividades y el error de las cuentas netas,
para ello, debido a que no todos los picos de Matriz_Valores aparecen
en Matriz_Fondo, debemos comparar los valores de la energía, y si
coinciden, proceder.
a=0;
for cMD=1:size(Matriz_D,2)
    for EMD=2:size(Matriz_D,1)
        for EMF=2:size(Matriz_F,1)
            if Matriz_D(EMD,1,1)==Matriz_F(EMF,1,1)
                Matriz_D(EMD,cMD,2)=Matriz_D(EMD,cMD,2)-Matriz_F(EMF,1,2);
                %Obtenemos las cuentas netas
                if Matriz_D(EMD,cMD,2)<=Matriz_D(EMD,cMD,4)
                    Matriz_D(EMD,cMD,2)=0;
                end
                a=Matriz_D(EMD,cMD,3)^2+Matriz_F(EMF,1,3)^2;
                Matriz_D(EMD,cMD,3)=sqrt(a);
                %Obtenemos el error de las cuentas netas
                if Matriz_D(EMD,cMD,2)==0
                    Matriz_D(EMD,cMD,3)=0;
                end
            else %Sino hay pico en el fondo, se deja el valor inicial
                leído
                    Matriz_D(EMD,cMD,2)=Matriz_D(EMD,cMD,2);
                    Matriz_D(EMD,cMD,3)=Matriz_D(EMD,cMD,3);
            end
        end
    end
end

```

```

end
%-----
%Dibujamos calibración canales-energia
figure (30)
hold on
plot(canales,Energia,'x')
plot(canales,Energia,'r')
title('Calibrado canales-energia')
ylabel('Energia / keV')
hold off
Energia2 = Energia(23:end);
%-----
%Con lo que tenemos por ahora, ya podemos obtener el valor de la
actividad.
%Para ello vamos a calcular la eficiencia y de ahí obtendremos el
valor de la actividad.
a=0.1031;
b=1.946;
c=11.07;
d=22.61;
lnEficiencia=a*(log(Energia2)).^3-
b*(log(Energia2)).^2+c*(log(Energia2))-d;
%-----
%Dibujamos la eficiencia de las energías del archivo txt.
figure (31)
hold on
plot(log(Energia2), lnEficiencia, '<')
plot(log(Energia2), lnEficiencia,'r')
title('Calibrado Eficiencia')
xlabel('ln (Energia / keV)')
ylabel('ln Eficiencia')
hold off
%-----
%Ahora, calculamos la eficiencia para cada pico
for i=2:30
    A=Matriz_D(i,1,1);
    logaritmoEficiencia(i-1) = a*(log(A)).^3-b*(log(A)).^2+c*(log(A))-d;
end
logaritmoEficiencia;
%-----
%Transformamos lnEficiencia a eficiencia tal cual
Eficiencia=exp(logaritmoEficiencia);
%-----
%Terminamos por limpiar todo lo innecesario menos:
%-----
%Ahora vamos a calcular la actividad de cada elemento (cada pico) para
cada profundidad
Actividad=zeros(size(Matriz_D,1)-1,size(Matriz_D,2));
%29 profundidades 29 elementos con sus respectivas repeticiones
MDA = zeros(size(Matriz_D,1)-1,size(Matriz_D,2));
ErrorA = zeros(size(Matriz_D,1)-1,size(Matriz_D,2));
[Actividad,MDA,ErrorA]=CalculoActividades(Actividad,Eficiencia,Matriz_
D,Matriz_P,MDA,ErrorA);
%Explicación matriz Actividad (Bq)
%Filas      = Las diferentes profundidades
%Columnas   = diferentes elementos, con sus respectivas repeticiones
%-----
%Dado que el pico de 185.7 keV tiene el problema de recibir
contribución
%por parte de la cadena radiativa de ambos uranios (238 y 235) se ha
de realizar una "limpieza"

```

```

[Act2U238Iny,Act1U238Iny,Act2U235Iny,Act0U238Iny]=Discernir(Matriz_D,Matriz_P,Eficiencia);
%-----
%Calculamos la actividad específica de cada elemento
%Corrección cálculo de las actividades específicas, ya que hay
muestras que no pesaban 0.05 kg.
%_4 - 31.7 g
%_6 - 45.2 g
%_7 - 45.6 g
%_13 - 41.3 g
a=0;
b=0;
for i=1:size(Matriz_D, 2)
    if Matriz_D(1,i,1)==4
        Act0U238Iny(i) = Act0U238Iny(i)/0.0317;
        Act1U238Iny(i) = Act1U238Iny(i)/0.0317;
        Act2U238Iny(i) = Act2U238Iny(i)/0.0317;
        Act2U235Iny(i) = Act2U235Iny(i)/0.0317;
        ActEsp(i,:) = Actividad(i,:)/0.0317;
        a = (ErrorA(i,:)/0.0317).^2;
        b = (Actividad(i)*0.1/1000/0.0317^2).^2;
        EActEsp(i,:) = sqrt(a+b);
        MDAEsp(i,:) = MDA(i,:)/0.0317;
        m(i) = 0.0317;
    elseif Matriz_D(1,i,1)==6
        Act0U238Iny(i) = Act0U238Iny(i)/0.0452;
        Act1U238Iny(i) = Act1U238Iny(i)/0.0452;
        Act2U238Iny(i) = Act2U238Iny(i)/0.0452;
        Act2U235Iny(i) = Act2U235Iny(i)/0.0452;
        ActEsp(i,:) = Actividad(i,:)/0.0452;
        a = (ErrorA(i,:)/0.0452).^2;
        b = (Actividad(i)*0.1/1000/0.0452^2).^2;
        EActEsp(i,:) = sqrt(a+b);
        MDAEsp(i,:) = MDA(i,:)/0.0452;
        m(i) = 0.0452;
    elseif Matriz_D(1,i,1)==7
        Act0U238Iny(i) = Act0U238Iny(i)/0.0456;
        Act1U238Iny(i) = Act1U238Iny(i)/0.0456;
        Act2U238Iny(i) = Act2U238Iny(i)/0.0456;
        Act2U235Iny(i) = Act2U235Iny(i)/0.0456;
        ActEsp(i,:) = Actividad(i,:)/0.0456;
        a = (ErrorA(i,:)/0.0456).^2;
        b = (Actividad(i)*0.1/1000/0.0456^2).^2;
        EActEsp(i,:) = sqrt(a+b);
        MDAEsp(i,:) = MDA(i,:)/0.0456;
        m(i) = 0.0456;
    elseif Matriz_D(1,i,1)==13
        Act0U238Iny(i) = Act0U238Iny(i)/0.0413;
        Act1U238Iny(i) = Act1U238Iny(i)/0.0413;
        Act2U238Iny(i) = Act2U238Iny(i)/0.0413;
        Act2U235Iny(i) = Act2U235Iny(i)/0.0413;
        ActEsp(i,:) = Actividad(i,:)/0.0413;
        a = (ErrorA(i,:)/0.0413).^2;
        b =
        (Actividad(i)*0.1/1000/0.0413^2).^2;
        EActEsp(i,:) = sqrt(a+b);
        MDAEsp(i,:) = MDA(i,:)/0.0413;
        m(i) = 0.0413;
    else
        Act0U238Iny(i) = Act0U238Iny(i)/0.05;
        Act1U238Iny(i) = Act1U238Iny(i)/0.05;

```

```

        Act2U238Iny(i)           = Act2U238Iny(i)/0.05;
        Act2U235Iny(i)           = Act2U235Iny(i)/0.05;
        ActEsp(i,:)              = Actividad(i,:)/0.050;
        a                         = (ErrorA(i,:)/0.050).^2;
        b                         =
(Aktividad(i)*0.1/1000/0.050^2).^2;
        EActEsp(i,:)             = sqrt(a+b);
        MDAEsp(i,:)              = MDA(i,:)/0.050;
        m(i)                      = 0.05;
    end
end
%Corrección necesaria ya que ahora hemos tenido en cuenta el error de
la masa.
for i=1:size(ActEsp,1)
    for j=1:size(ActEsp,2)
        if ActEsp(i,j)==0
            EActEsp(i,j)=0;
        end
    end
end
end

%-----
%Dibujamos la actividad específica en función de la profundidad y la
%respectiva MDA en color rojo.
disp('¿Se quiere representar todas las actividades?')
pregunta=input('Y/N ', 's');
if pregunta == 'Y'
    for i=1:(size(Matriz_D,1)-1)%Dibujo por cada elemento
        figure (31+i)
        hold on
        errorbar(Matriz_D(1,:,1),ActEsp(:,i),EActEsp(:,i), 'o')
        plot(Matriz_D(1,:,1),MDAEsp(:,i), 'r');
        ylabel('Actividad / Bq·Kg^-^1')
        xlabel('Profundidad / cm')
        X=['Actividades para pico: ', num2str(Matriz_D(i+1,1,1)), ' keV'];
        title(X)
        hold off
    end

    figure (61)
    hold on
    plot(Matriz_D(1,:,1),Act2U235Iny, 'o')
    ylabel('Actividad / Bq·Kg^-^1')
    xlabel('Profundidad / cm')
    title('Actividad inyectada U-235 para pico de 185.7 keV');
    hold off
    figure (62)
    hold on
    plot(Matriz_D(1,:,1),Act0U238Iny, 'o')
    ylabel('Actividad / Bq·Kg^-^1')
    xlabel('Profundidad / cm')
    title('Actividad inyectada U-238 obtenido de la actividad de U-
235');
    hold off
    figure (63)
    hold on
    plot(Matriz_D(1,:,1),Act1U238Iny, 'o')
    ylabel('Actividad / Bq·Kg^-^1')
    xlabel('Profundidad / cm')
    title('Actividad inyectada U-238 obtendio del pico Th-234 / 63.3
keV');

```

```

hold off
figure (64)
hold on
plot(Matriz_D(1,:,1),Act2U238Iny,'o')
ylabel('Actividad / Bq·Kg^-^1')
xlabel('Profundidad / cm')
title('Actividad inyectada U-238 a partir del pico Th-234 / 92.6
keV');
hold off
end
%-----
%A continuación vamos a proceder a realizar el cálculo de
transformación profundidad - edad del sedimento.

%Para poder aplicar ambos modelos necesitamos hacer uso del plomo en
exceso que hay presente en el sedimento, haciendo necesario el cálculo
del plomo soportado por el terreno.
%Para ello se utilizarán los picos del Pb-214(295 keV y 352 keV), el
Bi-214 (609 keV) y Th_234(63 keV)
posPb = 0;
posPb1 = 0;
posPb2 = 0;
posBi = 0;
posTh = 0;
for i=1:size(Matriz_D,1)
    if abs(Matriz_D(i,1,1)-295)<1
        posPb1=i-1;
        %Ya que el primer valor de i hace referencia a la fila de
Matriz_D asignada a guardar los valores de profundidades
    elseif abs(Matriz_D(i,1,1)-46.52)<1
        posPb = i-1;
    elseif abs(Matriz_D(i,1,1)-352)<1
        posPb2=i-1;
    elseif abs(Matriz_D(i,1,1)-609)<1
        posBi=i-1;
    elseif abs(Matriz_D(i,1,1)-63)<1
        posTh = i-1;
    end
end
end

prof=Matriz_D(1,:,1);

figure(65)
hold on
plot(prof,ActEsp(:,posPb),'>','DisplayName','Pb-210 (46.52 keV)')
plot(prof,ActEsp(:,posPb1),'xr','DisplayName','Pb-214 (295 keV)')
plot(prof,ActEsp(:,posPb2),'xg','DisplayName','Pb-214 (352 keV)')
plot(prof,ActEsp(:,posBi),'<y','DisplayName','Bi-214 (609 keV)')
plot(prof,ActEsp(:,posTh),'x','DisplayName','Th-234 (63keV)')
xlabel('Profundidad')
ylabel('Actividad Especifica')
legend('show')

%Dado que sólo muestran equilibrio secular: Pb-214 (295 keV),Pb-214
%(352 keV) y Bi-214 (609 keV), serán los que utilicemos para calcular
el la actividad soportada a cada profundidad
ActPb1=0;
ActPb2=0;
ActBi=0;
EAct1=0;
EAct2=0;

```

```

EAct3=0;
for i=1:size(ActEsp,1)
    ActPb1 = ActEsp(i,posPb1);
    EAct1 = EActEsp(i,posPb1);
    ActPb2 = ActEsp(i,posPb2);
    EAct2 = EActEsp(i,posPb2);
    ActBi = ActEsp(i,posBi);
    EAct3 = EActEsp(i,posBi);
    ActS = [ActPb1,ActPb2,ActBi];
    ActSop(i)=sum(ActS)/3;
    EActS = [(EAct1/3)^2,(EAct2/3)^2,(EAct3/3)^2];
    EActSop(i)= sqrt(sum(EActS));
    %Vector que contiene la actividad soportada de cada capa de
    sedimento.
end
%buscamos la posición del Pb210 en Matriz_D
pos= 0;
for i=1:size(Matriz_D,1)
    if Matriz_D(i,1,1) == 46.52
        pos = i-1;
    end
end

%Calculamos la Actividad en exceso y su error, que nos servirán para
los modelos CIC y CRS

for i=1:size(ActEsp,2)
    ActExc(i) = ActEsp(i,pos)-ActSop(i);
    %Calculamos el error cometido para cada profundidad de la
    actividad en exceso de Pb-210
    EActExc(i)=sqrt(EActEsp(i,pos)^2+EActSop(i)^2);
    if (ActEsp(i,pos)-ActSop(i))<0 & ActEsp(i,pos)~=0
        ActExc(i)=ActSop(i)/100;
        EActExc(i)=ActSop(i)/200;
    elseif ActEsp(i,pos)==0
        ActExc(i)=0;
        EActExc(i)=0;
    end
end
end

```

2. LectorDeDatos.m

Función utilizada por ProgramaDatos2016.m encargada de leer los diferentes ficheros de datos de las diferentes capas de sedimentos. Dicho proceso está automatizado de tal forma que se debe de escribir el nombre de los ficheros que se quieran leer en otro fichero formato .txt (ver Apéndice III), introduciendo en dos filas todos los nombres, escribiendo en la primera columna los ficheros .lst y en la segunda columna los ficheros .txt. Los datos son presentados en la matriz Matriz_D.

```

function [NombreFichero,Matriz_D] = LectorDeDatos(Matriz_D)
%Programa activado por PROGRAMAPRINCIPAL.m
%Consiste en la lectura de archivos txt y lst y la obtención de datos
de dichos archivos. Concretamente todos los valores presentes en los
.txt y unos específicos del .lst marcados a lo largo del programa.
%Este programa va a comenzar leyendo los nombres de los ficheros y va
a añadirlo a la ruta de búsqueda del archivo, para, posteriormente,
sacar los valores e insertarlos en las debidas matrices de datos.

```

```

%Ahora, debemos hacer que se coja el fichero NombreFicheros y coja
cada línea y la primera palabra que lee la asigne a la raíz de
búsqueda de txt y la segunda palabra a la raíz de búsqueda de lst.
NombreFichero =
textread('C:\Users\Usuario\Desktop\TFG\ProgramaDatos2016\NombresFicheros.txt','%s','delimiter','\n');

cP=1; %posición de profundidad

for n1=1:length(NombreFichero);
%-----
%Con esta sección se obtiene el nombre del fichero que será,
posteriormente agregado a la raíz de búsqueda de dicho fichero %para
realizar el programa.
Nombre = NombreFichero(n1);
[token, remain] = strtok(Nombre, ' ');
%Se busca en la primera línea del vector NombreFichero que contiene
%todos los nombres de ficheros la letra S. De esta forma separamos
%el nombre en dos para las dos raíces

TXT = strrep(strjoin(remain), ' ', '');
%Eliminamos con el segundo comando el espacio que se genera en el
remain debido a la separación entre los nombres
RaizTXT =
['C:\Users\Usuario\Desktop\TFG\BibliografiaTFG\MedidasGermanioAbril2016\',TXT];
txt=(str2double(textread(RaizTXT,'%s')));
LST = strjoin(token);
RaizLST =
['C:\Users\Usuario\Desktop\TFG\BibliografiaTFG\MedidasGermanioAbril2016\',LST];
lst = textread(RaizLST,'%s','delimiter','\n');
%-----

n=length(lst);
y=1;
w=1;
%Buscamos en el archivo la fila que pone ACTIVITY INFORMATION WITH
%MDA, que es la fila a partir de la cual vamos a leer los datos.
for l=1:n
r = strfind(lst(l),'ACTIVITY INFORMATION with MDA');
R = strfind(lst(l),'ACTIVITY INFORMATION with FWHM ');
if r{1}==1
y=1;
elseif R{1}==1
w=1;
end
end
p=y;
S=w;
%Ahora vamos leyendo cada fila y buscamos a ver si pone el elemento
%que hemos elegido para mirar los datos.
%Se muestra:
%Energía/keV,Actividad/cps,ErrorActividad/cps,MDA/cps,Error/cps'
A=1;
B=1;
C=1;
D=1;
E=1;
F=1;
G=1;
H=1;

```

```

M=1;
O=1;
PD=1;
for j=1:n
    a = strfind(lst(j), 'K-40');
    b = strfind(lst(j), 'Cs-137');
    c = strfind(lst(j), 'Pb-210');
    d = strfind(lst(j), 'Pb-212');
    e = strfind(lst(j), 'Pb-214');
    f = strfind(lst(j), 'Bi-212');
    g = strfind(lst(j), 'Bi-214');
    h = strfind(lst(j), 'Ac-228');
    m = strfind(lst(j), 'Th-234');
    o = strfind(lst(j), 'U-235');
    pd = strfind(lst(j), 'Pd-100');

    if a{1}==1 & j>p & j<S;
        resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
        %El comando strtok() permite coger el string que se la pase
        %en 2 trozos. El primero sería lo que encuentra en el
        %primer espacio y el segundo, el resto.
        for k=1:6
            [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
            K(k) = str2double(primera);
        end
        K;
        i=1;
        for k=1:length(K);
            if isnan(K(k))
            else
                K_40(A,i)=K(k);
                i=i+1;
            end
        end
        A=A+1;

    elseif b{1}==1 & j>p & j<S;
        resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
        %El comando strtok() permite coger el string que se la pase
        %en 2 trozos. El primero sería lo que encuentra en el
        %primer espacio y el segundo, el resto.
        for k=1:6
            [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
            Cs(k) = str2double(primera);
        end
        Cs;
        i=1;
        for k=1:length(Cs);
            if isnan(Cs(k))
            else
                Cs_137(B,i)=Cs(k);
                i=i+1;
            end
        end
        B=B+1;
    end
end

```

```

elseif c{1}==1 & j>p & j<S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        Pb(k) = str2double(primera);
    end
    Pb;
    i=1;
    for k=1:length(Pb);
        if isnan(Pb(k))
            else
                Pb_210(C,i)=Pb(k);
                i=i+1;
            end
        end
    end
    C=C+1;

elseif d{1}==1 & j>p & j<S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        Pb2(k) = str2double(primera);
    end
    Pb2;
    i=1;
    for k=1:length(Pb2);
        if isnan(Pb2(k))
            else
                Pb_212(D,i)=Pb2(k);
                i=i+1;
            end
        end
    end
    D=D+1;

elseif e{1}==1 & j>p & j<S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        Pb4(k) = str2double(primera);
    end
    Pb4;
    i=1;
    for k=1:length(Pb4);
        if isnan(Pb4(k))
            else
                Pb_214(E,i)=Pb4(k);
                i=i+1;
            end
        end
    end
    E=E+1;

elseif f{1}==1 & j>p & j<S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell

    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        Bi(k) = str2double(primera);

```

```

end
Bi;
i=1;
for k=1:length(Bi);
    if isnan(Bi(k))
    else
        Bi_212(F,i)=Bi(k);
        i=i+1;
    end
end
F=F+1;

elseif g{1}==1 & j>p & j<S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        Bi2(k) = str2double(primera);
    end
    Bi2;
    i=1;
    for k=1:length(Bi2);
        if isnan(Bi2(k))
        else
            Bi_214(G,i)=Bi2(k);
            i=i+1;
        end
    end
    G=G+1;

elseif h{1}==1 & j>p & j<S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        Ac(k) = str2double(primera);
    end
    Ac;
    i=1;
    for k=1:length(Ac);
        if isnan(Ac(k))
        else
            Ac_228(H,i)=Ac(k);
            i=i+1;
        end
    end
    H=H+1;

elseif m{1}==1 & j>p & j<S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        Th(k) = str2double(primera);
    end
    Th;
    i=1;
    for k=1:length(Th);
        if isnan(Th(k))
        else

```

```

        Th_234(M,i)=Th(k);
        i=i+1;
    end
end
M=M+1;

elseif o{1}==1 & j>p & j<S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        U(k) = str2double(primera);
    end
    U;
    i=1;
    for k=1:length(U);
        if isnan(U(k))
        else
            U_235(O,i)=U(k);
            i=i+1;
        end
    end
    O=O+1;
elseif pd{1}==1 & j>p & j<S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        Pd(k) = str2double(primera);
    end
    Pd;
    i=1;
    for k=1:length(Pd);
        if isnan(Pd(k))
        else
            Pd_100(PD,i)=Pd(k);
            i=i+1;
        end
    end
    PD=PD+1;
end

end

%Se muestra:
%Energía_de_Librería/keV, Energía_Medida/keV, Energía_Librería-
Medida/keV, FWHM Actividad/cps, ErrorActividad/cps
for j=1:n
    a = strfind(lst(j), 'K-40');
    b = strfind(lst(j), 'Cs-137');
    c = strfind(lst(j), 'Pb-210');
    d = strfind(lst(j), 'Pb-212');
    e = strfind(lst(j), 'Pb-214');
    f = strfind(lst(j), 'Bi-212');
    g = strfind(lst(j), 'Bi-214');
    h = strfind(lst(j), 'Ac-228');
    m = strfind(lst(j), 'Th-234');
    o = strfind(lst(j), 'U-235');
    pd = strfind(lst(j), 'Pd-100');

    if a{1}==1 & j>S;

```

```

        resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
        for k=1:6
            [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
            K(k) = str2double(primera);
        end
        K;
        i=1;
        for k=1:length(K);
            if isnan(K(k))
            else
                K_40(A,i)=K(k);
                i=i+1;
            end
        end
        A=A+1;

    elseif b{1}==1 & j>S;
        resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
        for k=1:6
            [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
            Cs(k) = str2double(primera);
        end
        Cs;
        i=1;
        for k=1:length(Cs);
            if isnan(Cs(k))
            else
                Cs_137(B,i)=Cs(k);
                i=i+1;
            end
        end
        B=B+1;

    elseif c{1}==1 & j>S;
        resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
        for k=1:6
            [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
            Pb(k) = str2double(primera);
        end
        Pb;
        i=1;
        for k=1:length(Pb);
            if isnan(Pb(k))
            else
                Pb_210(C,i)=Pb(k);
                i=i+1;
            end
        end
        C=C+1;

    elseif d{1}==1 & j>S;
        resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
        for k=1:6
            [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
            Pb2(k) = str2double(primera);
        end
        Pb2;

```

```

i=1;
for k=1:length(Pb2);
    if isnan(Pb2(k))
    else
        Pb_212(D,i)=Pb2(k);
        i=i+1;
    end
end
D=D+1;

elseif e{1}==1 & j>S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        Pb4(k) = str2double(primera);
    end
    Pb4;
    i=1;
    for k=1:length(Pb4);
        if isnan(Pb4(k))
        else
            Pb_214(E,i)=Pb4(k);
            i=i+1;
        end
    end
    E=E+1;

elseif f{1}==1 & j>S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        Bi(k) = str2double(primera);
    end
    Bi;
    i=1;
    for k=1:length(Bi);
        if isnan(Bi(k))
        else
            Bi_212(F,i)=Bi(k);
            i=i+1;
        end
    end
    F=F+1;

elseif g{1}==1 & j>S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        Bi2(k) = str2double(primera);
    end
    Bi2;
    i=1;
    for k=1:length(Bi2);
        if isnan(Bi2(k))
        else

```

```

        Bi_214(G,i)=Bi2(k);
        i=i+1;
    end
end
G=G+1;

elseif h{1}==1 & j>S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        Ac(k) = str2double(primera);
    end
    Ac;
    i=1;
    for k=1:length(Ac);
        if isnan(Ac(k))
        else
            Ac_228(H,i)=Ac(k);
            i=i+1;
        end
    end
    H=H+1;

elseif m{1}==1 & j>S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        Th(k) = str2double(primera);
    end
    Th;
    i=1;
    for k=1:length(Th);
        if isnan(Th(k))
        else
            Th_234(M,i)=Th(k);
            i=i+1;
        end
    end
    M=M+1;

elseif o{1}==1 & j>S;
    resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
    for k=1:6
        [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
        U(k) = str2double(primera);
    end
    U;
    i=1;
    for k=1:length(U);
        if isnan(U(k))
        else
            U_235(O,i)=U(k);
            i=i+1;
        end
    end
    O=O+1;

elseif pd{1}==1 & j>S;

```

```

        resto = lst(j);%Cogemos la linea. Va en formato cell
        for k=1:6
            [primera, resto]=strtok(resto);%Cogemos la parte de
los datos numéricos
            Pd(k) = str2double(primera);
        end
        Pd;
        i=1;
        for k=1:length(Pd);
            if isnan(Pd(k))
            else
                Pd_100(PD,i)=Pd(k);
                i=i+1;
            end
        end
        PD=PD+1;
    end
end

%-----
%Obtención profundidad a la que pertenece la lactura de datos de este
%archivo
    deep=strfind(TXT, '_');
    prof= TXT(deep(1)+1:deep(2)-1);
    Matriz_D(1,cP,1) = str2double(prof);
    cP = cP+1;
%-----
%Llamamos a Datos para que obtenga el resto de datos de cada elemento y
%los coloque en el array multidimensional
    [Matriz_D]=Datos(Matriz_D,K_40, Pd_100,
Cs_137,Pb_210,Pb_212,Pb_214,Bi_212,Bi_214,Ac_228,Th_234,U_235,n1);
%-----
    %Obtención de la cuentas de cada fichero txt y se colocan en
    %Matriz_Valores desde la columna 6 en adelante.
    p_fondo=6;
    for i=1:length(txt)
%Comparamos si es NaN o no lo es. Si lo es, va a la matriz basura que
luego será eliminada. Si no lo es, va al vector cuentas.
        if (isnan(txt(i)));
        else
            Matriz_D(2,n1,p_fondo)=txt(i);%Se guardan los valores
de las cuentas en la fila del primer pico.
            p_fondo=p_fondo+1;
        end
    end
end
end

%-----
%Correccion posiciones de matriz cuando se da el caso de que A(t)<MDA:
%Posición 3 debe ser valor 0 y lo que había en 3 ponerlo en 4.
[Matriz_D]=Correccion(Matriz_D,n1);
%-----
%Hacemos uso de lsigma de error
Matriz_D(:, :, 3)=Matriz_D(:, :, 3)/2;
end

```

3. LectorFondo.m

Función dedicada a la lectura del fichero correspondiente al fondo ambiental. Su funcionamiento es el mismo que en el caso de LectorDeDatos.m pero modificado para este caso. Presenta sus datos en la matriz Matriz_F. Los datos correspondientes al archivo .lst se han introducido manualmente.

```

function [Matriz_F] = LectorFondo(Matriz_F)
%Programa activado por ProgramaDatos2016.m
%Consiste en la lectura de archivo txt.
%Concretamente todos los valores presentes en los txt.
cP=1; %posición de profundidad
n1=1;
%-----
%Con esta sección se obtiene el nombre del fichero que será,
%posteriormente agregado a la raíz de búsqueda de dicho fichero para
%realizar el programa.

txt=(str2double(textread('C:\Users\Usuario\Desktop\TFG\fondo3d\fondo3d
.txt','%s')));
%-----
%Datos introducidos manualmente del archivo .lst. Primera mitad del
%vector corresponde a los datos de ACTIVITY INFORMATION with MDA's for
%MCArd#1. Segunda mitad corresponde a datos de ACTIVITY INFORMATION with
%FWHM for MCArd#1

K_40 = [1460.75 0.001118 0.000215 0.0005040 0 0;
        1460.75 1460.81 -0.06 2.34 0.001118 0.000215];
Pd_100 = [74.80 0.001010 0.0004241 0.0006771 0 0;
          74.80 75.43 -0.63 0 0.001010 0.0004241];
Cs_137 = [661.62 0 0 0.0004428 0 0;
          661.62 661.12 0.50 0 0.0004428 0];
Pb_210 = [46.52 0 0 0.001000 0 0;
          46.52 46.85 -0.33 1.43 0.001000 0];
Pb_212 = [238.63 0.001700 0.0004759 0.0007465 0 0;
          300.09 0.0007081 0.0004085 0.0006600 0 0;
          238.63 238.60 0.03 2.11 0.001700 0.0004759;
          300.09 299.81 0.28 0 0.0007081 0.0004085];
Pb_214 = [241.92 0.0007523 0.0003692 0.0005913 0 0;
          295.22 0.003244 0.0004229 0.0006007 0 0;
          351.99 0.004994 0.000457 0.0006076 0 0;
          241.92 241.96 -0.04 0 0.0007523 0.0003692;
          295.22 295.20 0.02 2.34 0.003244 0.0004229;
          351.99 351.61 0.38 2.23 0.004994 0.000457];
Bi_212 = [727.17 0 0 0.0003482 0.0003482 0;
          727.17 727.88 -0.71 0.92 0.0003482 0];
Bi_214 = [609.32 0.003166 0.000322 0.0003956 0 0;
          1120.28 0.001001 0.0002218 0.0003127 0 0;
          1764.51 0.001177 0.0001768 0.0001987 0 0;
          609.32 609.19 0.13 2.27 0.003166 0.000322;
          1120.28 1120.74 -0.46 2.92 0.001001 0.0002218;
          1764.51 1763.65 0.86 1.98 0.001177 0.0001768];
Ac_228 = [129.10 0 0 0.0007451 0 0;
          209.40 0 0 0.0006476 0 0;
          270.30 0 0 0.0006628 0 0;
          328.00 0 0 0.0005764 0 0;
          338.40 0 0 0.0006176 0 0;
          463.00 0 0 0.0003155 0 0;
          911.07 0.0005800 0.0002345 0.0003634 0 0;
          968.90 0 0 0.0004031 0 0;
          129.10 129.10 -0.00 0 0.0007451 0;
          209.40 209.47 -0.07 0 0.0006476 0;
          270.30 270.11 0.19 0 0.0006628 0;
          328.00 327.99 0.01 0 0.0005764 0;
          338.40 337.74 0.66 0 0.0006176 0;
          409.40 408.86 0.54 0 0.0005163 0;
          463.00 462.62 0.38 0.73 0.0003155 0;

```

```

794.80 794.97 -0.17 0 0.0004390 0;
911.07 911.84 -0.77 0.34 0.0005800 0.0002345
968.90 969.32 -0.42 0 0.0004031 0];
Th_234 = [63.29 0.004599 0.0006367 0.0009617 0 0;
92.80 0.007978 0.0005806 0.0007714 0 0;
63.29 63.49 -0.20 1.80 0.004599 0.0006367;
92.80 92.76 0.04 1.92 0.007978 0.0005806];
U_235 = [143.76 0 0 0 0 0;
185.72 0 0 0 0 0;
143.76 0 0 0 0 0;
185.72 0 0 0 0 0];
%-----
%Llamamos a Datos para que obtenga el resto de datos de cada elemento y
%los coloque en el array multidimensional
[Matriz_F]=DatosFondo(Matriz_F,K_40, Pd_100,
Cs_137,Pb_210,Pb_212,Pb_214,Bi_212,Bi_214,Ac_228,Th_234,U_235,n1);
%-----
%Obtención de la cuentas de cada fichero txt y se colocan en
%Matriz_Valores desde la columna 6 en adelante.
p_fondo=6;
for i=1:length(txt)
    %Comparamos si es NaN o no lo es. Si lo es, va a la matriz
    %basura que luego será eliminada. Si no lo es, va al vector
    %cuentas.
    if (isnan(txt(i)));
    else
        Matriz_F(2,n1,p_fondo)=txt(i);%Se guardan los valores de las
        cuentas en la fila del primer pico.
        p_fondo=p_fondo+1;
    end
end

%-----
%Correccion posiciones de matriz cuando se da el caso de que A(t)<MDA:
%Posición 3 debe ser valor 0 y lo que había en 3 ponerlo en 4.
[Matriz_F]=CorreccionFondo(Matriz_F,n1);
%-----
%1sigma de error
Matriz_F(:, :, 3)=Matriz_F(:, :, 3)/2;
end

```

4. Correccion.m

Función dedicada a realizar una ligera corrección en los datos tras su lectura debido a que si se daba el caso en el que un elemento presentaba actividad inferior a la MDA se producía una mala asignación de valores en la Matriz_D.

```

function [Matriz_D]=Correccion(Matriz_D,n1)
%En esta funcion corregimos la posicion de los valores de la
Matriz_Valores cuando se da el caso de que la Actividad < MDA. En dicho
caso, se coge el valor de la columna 3 y se lleva a la columna 4 para
colocar el valor de MDA de la columna de errores de A(t) a la columna
de MDA. El valor de la columna 3 se vuelve 0, ya que en dicho caso la
actividad es la MDA y la MDA es un error en sí misma, por lo tanto no
hay error como tal.

for pos_f=2:size(Matriz_D,1)%Interacciones debido al numero de elementos
    for pos_c=1:n1%Debido al numero de profundidades que se trabajan
        if Matriz_D(pos_f,pos_c,2) <= Matriz_D(pos_f,pos_c,3)

```

```

        Matriz_D(pos_f,pos_c,4)= Matriz_D(pos_f,pos_c,3);
        Matriz_D(pos_f,pos_c,3)= 0;%Hacemos el error cero
        Matriz_D(pos_f,pos_c,2)=0; %Hacemos la actividad cero
    else
    end
end
end
end

```

5. CorreccionFondo.m

Programa equivalente a Correccion.m pero modificado para la matriz Matriz_F.

```

function [Matriz_F]=CorreccionFondo(Matriz_F,n1)
%En esta funcion corregimos la posicion de los valores de la
Matriz_Valores cuando se da el caso de que la Actividad < MDA. En dicho
caso, se coge el valor de la columna 3 y se lleva a la columna 4 para
colocar el valor de MDA de la columna de errores de A(t) a la columna
de MDA. El valor de la columna 3 se vuelve 0, ya que en dicho caso la
actividad es la MDA y la MDA es un error en sí misma

for pos_f=2:size(Matriz_F,1)%Iteraciones debido al numero de elementos
    for pos_c=1:n1%Debido al numero de profundidades que se trabajan
        if Matriz_F(pos_f,pos_c,2)==Matriz_F(pos_f,pos_c,3)
            Matriz_F(pos_f,pos_c,4)=Matriz_F(pos_f,pos_c,3);
            Matriz_F(pos_f,pos_c,3)=0; %Hacemos error cero
            Matriz_F(pos_f,pos_c,2)=0; %Hacemos la actividad cero
        else
        end
    end
end
end
end

```

6. CalculoActividades.m

Función dedicada al cálculo de las actividades a partir de los datos leídos por LectorDeDatos.m y presentados en Matriz_D. Las actividades resultantes de los cálculos aquí mostrados tienen unidades de Bq.

```

function
[Actividad,MDA,ErrorA]=CalculoActividades(Actividad,Eficiencia,Matriz_
D,Matriz_P,MDA,ErrorA)
%Función que se encargará de calcular los valores de las actividades
para cada elemento y lo guardará en la matriz Actividad.

for columna=1:size(Matriz_D,2)%Profundidades
    for elemento=2:size(Matriz_D,1)%Elementos
        a = Matriz_D(elemento,columna,2);%ACTIVIDAD / CPS
        b = Matriz_P(elemento-1)*Eficiencia(elemento-1);
        Actividad(columna,elemento-1)= a/b;

        a = Matriz_D(elemento,columna,4);%MDA / CPS
        b = Matriz_P(elemento-1)*Eficiencia(elemento-1);
        MDA(columna,elemento-1)=a/b;

        a = Matriz_D(elemento,columna,3);%ERROR / CPS
        b = Matriz_P(elemento-1)*Eficiencia(elemento-1);
        ErrorA(columna,elemento-1)=a/b;
    end
end

```

```

end
end
end

```

7. Discernir.m

8. Probabilidades.m

Función dedicada a generar matriz de probabilidades de cada pico de energías para su posterior uso en cálculos de actividades.

```

function [Matriz_P]=Probabilidades()
%Programa que contiene las probabilidades de los diferentes picos
elegidos.

    %K_40; Pd_100;Cs_137; Pb_210; Pb_212;
Matriz_P=[40.0; 6.6; 85.1; 3.6; 43.66; 3.34;
    %Pb_214; Bi_212;
    7.5*0.9998; 18.5*0.9998; 38.5*0.9998; 6.65;
    %Bi_214;
    44.81; 4.88; 14.8; 5.86; 3.92; 15.9; 4.86;
    %Ac_228; Th_234;
    3.88; 3.43; 2.95; 11.3; 4.44; 26.6; 5.11; 16.2; 4.1; 5.16;
    %U_235
    10.9; 57.5]./100;
end

```

9. DatadorCiC.m

Programa dedicado a la datación de los sedimentos haciendo uso del método CIC.

```

%PROGRAMA DEDICADO A LA APLICACIÓN DEL MODELO CIC SOBRE LOS DATOS
CARGADOS PREVIAMENTE GRACIAS AL PROGRAMA ProgramaDatos2016
prof = Matriz_D(1,1:14,1);
prof2 = Matriz_D(1,:,1);
prof3 = Matriz_D(1,15:28,1);
logActExcCIC = log(ActExc);
errorlogActExc = EActExc./ActExc;
%Dibujamos los valores que son más lineales para obtener estimación
%de la velocidad de sedimentación.
%Utilizamos sólo la zona más lineal de la actividad del Pb-210, por
eso sólo los 9 primeros datos.
hold on
figure(66)
errorbar(prof,logActExcCIC(1:14),errorlogActExc(1:14),'o')
xlabel('Profundidad / cm')
ylabel('ln A Pb-210_{exceso}')
hold off

figure(202)
errorbar(prof3,logActExcCIC(15:28),errorlogActExc(15:28),'o')
xlabel('Profundidad / cm')
ylabel('ln A Pb-210_{exceso}')
hold off

```

```

ActX = ActExc;
ErrorX = EActExc;
tCIC = 2016-(1/0.0311)*log(ActX(1)./ActX);
ErrorCIC = (1/0.0311)*(ErrorX./(ActX));

pendiente = input('Valor de la mayor pendiente de la figura 66: ');
pend = input('Valor de la menor pendiente de la figura 66: ');
velocSedim = -0.031/pendiente;%cm/yr
velocSedim2 = -0.031/pend;%cm/yr

a=sum(errorlogActExc(1:14).^2);
sigma1 = sqrt(a/(length(prof)-2));
c=length(prof)*sum(prof.^2)-(sum(prof))^2;
errorpendiente = sigma1*sqrt(length(prof)/c);
errorvelocSedim = 0.031/pendiente^2*errorpendiente;

a=sum(errorlogActExc(15:28).^2);
sigma1 = sqrt(a/(length(prof3)-2));
c=length(prof3)*sum(prof3.^2)-(sum(prof3))^2;
errorpendiente2 = sigma1*sqrt(length(prof3)/c);
errorvelocSedim = 0.031/pendiente2^2*errorpendiente2;

figure(67)
herrorbar(tCIC,prof2,ErrorCIC,'o')
ylabel('Profundidad / cm')
xlabel('Año / year')
x='Datación CIC';
title(x);
hold off

```

10. DatadorCRS.m

Programa dedicado a la datación de los sedimentos haciendo uso del método CRS.

```

%PROGRAMA QUE CALCULA LA EDAD DEL SEDIMENTO POR MEDIO DEL METODO CRS Y
%DETERMINA LA VELOCIDAD DE SEIDMENTACION EN CADA CAPA DE SEDIMENTO A
%PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS CON EL MODELO CRS

d=[0.68422;0.78314;0.87682;0.82279;0.82761;0.79041;0.86667;0.91550;
0.97016;0.91550;0.97016;1.0528;1.0318;1.1017;1.1404;1.0656;1.1404;
1.1017;1.1017;1.1017;1.1017;1.1818;1.1017;1.1818;1.1818;1.1818;
1.1017;1.1017;1.1818]'/1000; %kg / cm^3
Ed = [0.029058;0.038057;0.075234;0.042005;0.047012;0.042507;0.046602;
0.051997;0.058387;0.051997;0.058387;0.083228;0.066032;0.075285;
0.080659;0.070431;0.080659;0.075285;0.075285;0.075285;0.075285;
0.086629;0.075285;0.086629;0.086629;0.086629;0.075285;0.075285;
0.086629]'/1000; %Error de la densidad en kg/cm^3

n = size(ActEsp,1); %Número de capas que hay para estudiar
for i=1:n
    if i==1
        esp(1)=1;
    elseif i==n
        esp(n)=Matriz_D(1,n,1)-Matriz_D(1,n-1,1);
    else
        esp(i)=Matriz_D(1,i,1)-Matriz_D(1,i-1,1);
    end
end
end

```

```

for i=1:n
    ActAcu(i) = sum(ActExc(i:n).*esp(i:n).*d(i:n));
    a = (EActExc(i:n).*esp(i:n).*d(i:n)).^2;
    b = (ActExc(i:n).*esp(i:n).*Ed(i:n)).^2;
    EActAcu(i) = sqrt(sum(a+b));
end

tCRS = 2016 - (1/0.0311) * (log(ActAcu(1) ./ ActAcu));
EtCRS = (1/0.0311) * sqrt((EActAcu(1) / ActAcu(1))^2 + (EActAcu ./ ActAcu).^2);
prof = Matriz_D(1, :, 1);
figure(68)
hold on
errorbar(tCRS, prof, EtCRS, 'o')
xlabel('Año / year')
ylabel('Profundidad / cm')
title('Datacion CRS');
hold off

figure(69)
hold on
plot(prof, log(ActAcu), 'o');
hold off
%A partir de los resultados, se calcula también la velocidad de
%sedimentación
for i=1:length(ActAcu)
    Vs(i) = 0.0311 * ActAcu(i) / (ActExc(i) * d(i));
    %velocidad de sedimentación
    a = (0.0311 * EActAcu(i) / (ActExc(i) * d(i)))^2;
    b = (0.0311 * ActAcu(i) * Ed(i) / (d(i)^2 * ActExc(i)))^2;
    c = (0.0311 * ActAcu(i) * EActExc(i) / (d(i) * ActExc(i)^2))^2;
    EVs(i) = sqrt(a+b+c);
end

figure(70)
hold on
errorbar(tCRS, Vs, EVs, 'o')
errorbar(tCRS, Vs, EtCRS, 'o')
xlabel('Año / year')
ylabel('Velocidad de Sedimentación / cm·yr^-1')
hold off

```

11. AjustePico.m

Programa de funcionamiento opcional con la finalidad de recalculer la actividad de un pico de energía. Sobre todo está pensada para aquellos picos en los que el software del detector ha asignado una baja actividad. Los datos de actividad, MDA y error obtenidos deben ser introducidos manualmente en las matrices Actividad, ErrorA y MDA.

```

%PROGRAMA DEDICADO A LA REALIZACIÓN DE UN AJUSTE MAS EXHAUSTIVO DE AQUEL
%PICO QUE SE ELIJA DEBIDO A SU BAJA ACTIVIDAD. SU UTILIZACIÓN DEBE SER
%SIEMPRE DESPUÉS DE HABER UTILIZADO ProgramaDatos2016.m Y HABER
%REPRESENTADO TODOS LOS ESPECTROS

```

```

%A continuacion se permite realizar un tratamiento del pico a partir
del fichero que contiene el espectro manualmente. De forma que
obtenemos la actividad del pico que deseemos estudiar.

```

```

valor = input('Profundidad del archivo que se quiere estudiar (cm):
');

```

```

v = find(Matriz_D(1, :, 1) == valor);

%Pasamos los datos de la cuentas a otras matrices para reducir el
tamaño de la Matriz_D. Tengamos en cuenta que los datos del espectro
se almacenaron en la segunda fila de la Matriz_D y la Matriz_F.
for i=1:size(cuentas, 2)
    CuentasGross(i) = cuentas(v, i);
end

figure(71)
plot(canales, CuentasGross, 'o')
xlabel('Canales')
ylabel('Cuentas')
hold off

%Se da a elegir los canales límites entre los que se quiere calcular
de nuevo los valores de la actividad de un pico.

CanalI = input('Canal a la izquierda: ');
CanalD = input('Canal a la derecha: ');

v1 = find(canales == CanalI); %posición del Canal Izquierdo
v2 = find(canales == CanalD); %posición del Canal Derecho

Channels = canales(v1:v2); %Canales para fondo del pico
%Cuentas para cálculo de la recta
cuentasI = CuentasGross(v1);
cuentasD = CuentasGross(v2);
%Calculamos coeficientes recta
a = (cuentasI - cuentasD) / (CanalI - CanalD);
b = (cuentasI + cuentasD - a * (CanalI + CanalD)) / 2;
%Calculamos cuentas fondo
CF = a * Channels + b;
cuentasfondo = sum(CF);
corr = (CanalD - CanalI) * (cuentasD + cuentasI) / 2;
%Calculamos cuentas totales medidas
cuentastotales = sum(CuentasGross(v1:v2));
%Calculamos las cuentas netas
CtasNetas = cuentastotales - cuentasfondo;
ECTasNetas = sqrt(cuentastotales + cuentasfondo);

prob = input('Probabilidad del pico estudiado: ');
ef = input('eficiencia del pico estudiado: ');
t = input('tiempo de medida: ');
%Recalculamos la MDA
mda = 2 * 1.645 * sqrt(2 * cuentasfondo) / t / ef / prob;
%Recalculamos la Actividad
ACTIVIDAD1 = CtasNetas / t; %/ef/prob;
ACTIVIDAD2 = ACTIVIDAD1 / ef / prob;
EActividad1 = ECTasNetas / t;
EActividad2 = EActividad1 / ef / prob;

disp('Cambie el valor obtenido de la ACTIVIDAD en la matriz
Actividad')
disp('Cambie el valor obtenido de la mda en la matriz MDA')

```

12. ProgramaRecalcActividades.m

Programa que ha de ser utilizado tras haber hecho uso de AjustePico.m en todos aquellos picos de energía deseados.

```
%PROGRAMA A SER UTILIZADO TRAS HABER HECHO CORRER EL PROGRAMA
AjustePico.m. PERMITE REALIZAR CÁLCULO DE LA ACTIVIDAD Y VARIABLES,
SOBREESCRIBIENDO LOS NUEVOS DATOS SOBRE LOS YA EXISTENTES
%-----
%Calculamos la actividad específica de cada elemento
%Corrección cálculo de las actividades específicas, ya que hay
muestras que
%no pesaban 0.05 kg.
%_4 - 31.7 g
%_6 - 45.2 g
%_7 - 45.6 g
%_13 - 41.3 g
a=0;
b=0;
for i=1:size(Matriz_D, 2)
    if Matriz_D(1,i,1)==4
        ActEsp(i,:) = Actividad(i,+)/0.0317;
        a = (ErrorA(i,+)/0.0317).^2;
        b =
        (Actividad(i)*0.1/1000/0.0317^2).^2;
        EActEsp(i,:) = sqrt(a+b);
        MDAEsp(i,:) = MDA(i,+)/0.0317;
        m(i) = 0.0317;
    elseif Matriz_D(1,i,1)==6
        ActEsp(i,:) = Actividad(i,+)/0.0452;
        a = (ErrorA(i,+)/0.0452).^2;
        b =
        (Actividad(i)*0.1/1000/0.0452^2).^2;
        EActEsp(i,:) = sqrt(a+b);
        MDAEsp(i,:) = MDA(i,+)/0.0452;
        m(i) = 0.0452;
    elseif Matriz_D(1,i,1)==7
        ActEsp(i,:) = Actividad(i,+)/0.0456;
        a = (ErrorA(i,+)/0.0456).^2;
        b =
        (Actividad(i)*0.1/1000/0.0456^2).^2;
        EActEsp(i,:) = sqrt(a+b);
        MDAEsp(i,:) = MDA(i,+)/0.0456;
        m(i) = 0.0456;
    elseif Matriz_D(1,i,1)==13
        ActEsp(i,:) = Actividad(i,+)/0.0413;
        a = (ErrorA(i,+)/0.0413).^2;
        b =
        (Actividad(i)*0.1/1000/0.0413^2).^2;
        EActEsp(i,:) = sqrt(a+b);
        MDAEsp(i,:) = MDA(i,+)/0.0413;
        m(i) = 0.0413;
    else
        ActEsp(i,:) = Actividad(i,+)/0.050;
        a = (ErrorA(i,+)/0.050).^2;
        b =
        (Actividad(i)*0.1/1000/0.050^2).^2;
        EActEsp(i,:) = sqrt(a+b);
        MDAEsp(i,:) = MDA(i,+)/0.050;
        m(i) = 0.05;
```

```

    end
end
%Corrección necesaria ya que ahora hemos tenido en cuenta el error de
la
%masa.
for i=1:size(ActEsp,1)
    for j=1:size(ActEsp,2)
        if ActEsp(i,j)==0
            EActEsp(i,j)=0;
        end
    end
end
end

%-----
%Dibujamos la actividad específica en función de la profundidad y la
%respectiva MDA en color rojo.
disp('¿Se quiere representar todas las actividades?')
pregunta=input('Y/N ', 's');
if pregunta == 'Y'
    for i=1:(size(Matriz_D,1)-1)%Dibujo por cada elemento
        figure (71+i)
        hold on
        errorbar(Matriz_D(1,:,1),ActEsp(:,i),EActEsp(:,i), 'o')
        plot(Matriz_D(1,:,1),MDAEsp(:,i), 'r');
        ylabel('Actividad / Bq·Kg^-1')
        xlabel('Profundidad / cm')
        X=['Actividades para pico: ', num2str(Matriz_D(i+1,1,1)), '
keV'];
        title(X)
        hold off
    end
end
%-----
%A continuación vamos a proceder a realizar el cálculo de
transformación profundidad - edad del sedimento.

%Para poder aplicar ambos modelos necesitamos hacer uso del plomo en
exceso que hay presente en el sedimento, haciendo necesario el cálculo
del plomo soportado por el terreno. Para ello se utilizarán los picos
del Pb-214(295 keV y 352 keV), el Bi-214 (609 keV) y Th_234(63 keV)
posPb = 0;
posPb1 = 0;
posPb2 = 0;
posBi = 0;
posTh = 0;
for i=1:size(Matriz_D,1)
    if abs(Matriz_D(i,1,1)-295)<1
        posPb1=i-1;
        %Ya que el primer valor de i hace referencia a la fila de
Matriz_D
        %asignada a guardar los valores de profundidades
    elseif abs(Matriz_D(i,1,1)-46.52)<1
        posPb = i-1;
    elseif abs(Matriz_D(i,1,1)-352)<1
        posPb2=i-1;
    elseif abs(Matriz_D(i,1,1)-609)<1
        posBi=i-1;
    elseif abs(Matriz_D(i,1,1)-63)<1
        posTh = i-1;
    end
end
end

```

```

prof=Matriz_D(1, :, 1);

figure(101)
hold on
plot(prof, ActEsp(:, posPb), '>', 'DisplayName', 'Pb-210 (46.52 keV)')
plot(prof, ActEsp(:, posPb1), 'xr', 'DisplayName', 'Pb-214 (295 keV)')
plot(prof, ActEsp(:, posPb2), 'xg', 'DisplayName', 'Pb-214 (352 keV)')
plot(prof, ActEsp(:, posBi), '<y', 'DisplayName', 'Bi-214 (609 keV)')
plot(prof, ActEsp(:, posTh), 'x', 'DisplayName', 'Th-234 (63keV)')
xlabel('Profundidad / cm')
ylabel('Actividad Específica / Bq·kg-1')
legend('show')

%Dado que sólo muestran equilibrio secular: Pb-214 (295 keV), Pb-214
%(352 keV) y Bi-214 (609 keV), serán los que utilizemos para calcular
el
%la actividad soportada a cada profundidad
ActPb1=0;
ActPb2=0;
ActBi=0;
EAct1=0;
EAct2=0;
EAct3=0;
for i=1:size(ActEsp,1)
    ActPb1 = ActEsp(i, posPb1);
    EAct1 = EActEsp(i, posPb1);
    ActPb2 = ActEsp(i, posPb2);
    EAct2 = EActEsp(i, posPb2);
    ActBi = ActEsp(i, posBi);
    EAct3 = EActEsp(i, posBi);
    ActS = [ActPb1, ActPb2, ActBi];
    ActSop(i) = sum(ActS) / 3;
    EActS = [(EAct1/3)^2, (EAct2/3)^2, (EAct3/3)^2];
    EActSop(i) = sqrt(sum(EActS));
    %Vector que contiene la actividad soportada de cada capa de
    sedimento.
end
%buscamos la posición del Pb210 en Matriz_D
pos= 0;
for i=1:size(Matriz_D,1)
    if Matriz_D(i, 1, 1) == 46.52
        pos = i-1;
    end
end

%Calculamos la Actividad en exceso y su error, que nos servirán para
los
%modelos CIC y CRS

for i=1:size(ActEsp, 2)
    ActExc(i) = ActEsp(i, pos) - ActSop(i);
    %Calculamos el error cometido para cada profundidad de la
    actividad en
    %exceso de Pb-210
    EActExc(i) = sqrt(EActEsp(i, pos)^2 + EActSop(i)^2);
    if (ActEsp(i, pos) - ActSop(i)) < 0 & ActEsp(i, pos) ~ = 0
        ActExc(i) = ActSop(i) / 100;
        EActExc(i) = ActSop(i) / 200;
    elseif ActEsp(i, pos) == 0

```

```
    ActExc(i)=0;  
    EActExc(i)=0;  
end  
end
```

APÉNDICE II

A continuación se muestran tres parejas de archivos con el fin de mostrar la estructura que presentaban los archivos para su lectura.

1. Muestra a 1 cm de profundidad

1.1. Formato de archivo .lst.

Aptec PCMCA/WIN Spectrum
23/Mar/2016 13:40:51

HEADER INFORMATION in MCARD#1

Identification	Acquisition
User :	Started : 12/Mar/2016 22:34:31
MCARD : 1	Stopped : 14/Mar/2016 22:34:31
Detector :	True Time : 172800.000 sec
Geometry :	Live Time : 172796.247 sec
Sample :	Dead Time : 0.00 %
Channels : 8192	Gross Count : 305415 counts
	LTC : 1
	Gross Rate : 1.76749 cps

Sample

Energy Calibration 12/Mar/2016 22:11:13
Isotope Library isotope.lib 29/Jul/1998 6:31:00

ROI COUNT INFORMATION in MCARD#1

ROI (#)	Channels Start - Stop	Energy keV Start - Stop	Net Counts	Background Counts	Gross Counts
1	23 - 37	9.19 - 13.62	11998	2010	14008
2	37 - 61	13.62 - 21.20	7331	4453	11784
3	134 - 148	44.27 - 48.70	3456	3469	6925
4	156 - 167	51.23 - 54.70	352	2544	2896
5	183 - 201	59.76 - 65.45	2955	4332	7287
6	225 - 234	73.03 - 75.88	2300	2892	5192
7	234 - 243	75.88 - 78.72	3440	2618	6058
8	253 - 265	81.89 - 85.68	627	2866	3493
9	265 - 275	85.68 - 88.84	1319	2257	3576
10	275 - 282	88.84 - 91.05	873	1547	2420
11	282 - 299	91.05 - 96.43	4899	3182	8081
12	301 - 312	97.06 - 100.54	317	1855	2172
13	444 - 458	142.27 - 146.70	405	2335	2740
14	574 - 589	183.38 - 188.12	1995	2171	4166
15	649 - 659	207.09 - 210.26	250	1337	1587
16	737 - 754	234.93 - 240.30	3970	1905	5875

17	754 - 767	240.30 - 244.42	924	1434	2358
18	838 - 855	266.87 - 272.25	261	1515	1776
19	918 - 934	292.18 - 297.24	1329	1349	2678
20	934 - 947	297.24 - 301.35	214	1090	1304
21	1026 - 1038	326.35 - 330.14	205	865	1069
22	1054 - 1069	335.20 - 339.95	642	1077	1719
23	1094 - 1115	347.86 - 354.50	2381	1265	3646
24	1451 - 1463	460.82 - 464.62	142	567	709
25	1593 - 1629	505.76 - 517.15	1582	1351	2932
26	1831 - 1844	581.08 - 585.19	930	480	1410
27	1908 - 1928	605.45 - 611.77	1782	617	2399
28	2076 - 2091	658.61 - 663.36	185	461	646
29	2283 - 2303	724.12 - 730.45	210	479	689
30	2416 - 2431	766.20 - 770.95	133	402	535
31	2472 - 2484	783.92 - 787.72	90	267	357
32	2864 - 2885	907.94 - 914.58	539	429	968
33	2939 - 2951	931.67 - 935.46	84	229	313
34	3036 - 3050	962.35 - 966.77	107	245	352
35	3050 - 3065	966.77 - 971.52	305	249	554
36	3527 - 3544	1117.61 - 1122.98	305	281	585
37	3901 - 3915	1235.82 - 1240.25	83	264	347
38	4344 - 4356	1375.80 - 1379.59	73	106	179
39	4599 - 4626	1456.35 - 1464.88	1789	192	1981
40	5564 - 5584	1761.15 - 1767.47	271	86	357
41	6961 - 6967	2203.37 - 2205.27	48	31	79

ROI STATISTICS INFORMATION in MCARD#1

ROI (#)	Error %	Centroid keV	FWHM keV	FWTM ratio	FWTM/FWHM ratio	H/L
1	2.11 %	10.89	3.27			
2	3.48 %	15.65	2.28			
3	5.90 %	46.40	1.26	2.43	1.93	3.612/4.092
4	41.91 %	53.36	1.48	2.88	1.95	3.255/5.867
5	7.30 %	63.15	1.27	2.47	1.94	3.793/4.024
6	7.82 %	74.68	1.37			
7	5.41 %	76.91	1.27			
8	25.42 %	84.08	1.36			
9	11.58 %	87.09	1.46			
10	14.43 %	89.78	1.31			
11	4.33 %	92.52	1.57	3.03	1.93	5.284/4.316
12	40.02 %	98.04	1.05	3.19	3.05	7.535/2.553
13	35.18 %	143.71	1.13	2.66	2.36	5.126/3.290
14	7.98 %	185.73	1.45	2.62	1.81	4.048/4.249
15	43.17 %	209.05	1.33	2.20	1.66	3.523/3.441
16	4.44 %	238.55	1.38	2.66	1.92	4.365/4.035
17	13.32 %	241.61	1.92			
18	43.96 %	270.07	1.66	2.98	1.79	5.495/3.916
19	9.55 %	295.14	1.10	2.60	2.36	3.762/4.460

20	45.65 %	300.24					
21	43.00 %	327.86	1.20	2.16	1.80	2.793/4.048	
22	16.48 %	338.20	1.80	2.85	1.58	4.273/4.732	
23	5.89 %	351.79	1.55	2.92	1.89	4.489/4.737	
24	50.36 %	462.77	0.98	2.40	2.47	4.329/3.270	
25	8.28 %	510.75	2.33	5.29	2.27	8.601/8.119	
26	9.34 %	583.12	1.37	2.97	2.16	4.839/4.544	
27	6.16 %	609.27	1.68	3.00	1.78	4.466/5.000	
28	35.93 %	661.53	1.47	3.31	2.26	4.005/6.443	
29	32.51 %	727.07	1.57	4.66	2.97	8.029/6.696	
30	45.88 %	768.71	0.99	3.43	3.46	3.962/6.890	
31	55.18 %	786.56	1.02	2.91	2.84	2.255/6.946	
32	13.87 %	911.19	1.90	3.81	2.01	6.281/5.775	
33	55.14 %	933.67		2.94		4.801/4.479	
34	45.54 %	964.92	1.11	2.76	2.48	3.809/4.901	
35	18.56 %	969.01	1.86	3.94	2.12	7.724/4.736	
36	19.32 %	1120.17	1.82				
37	59.24 %	1238.34	2.31				
38	46.15 %	1377.52	1.53	2.72	1.77	5.433/3.171	
39	5.21 %	1460.70	2.30	4.01	1.74	6.293/6.395	
40	15.56 %	1764.20	2.24	4.31	1.92	6.904/6.728	
41	43.55 %	2204.05	1.21				

Errors Quoted at 2 Sigma

ACTIVITY INFORMATION for MCARD#1

Name	Energy keV	Activity Flag cps	Error cps
K-40	1460.75		0.01035 ± 0.0005396
Pd-100	74.80		0.01331 ± 0.001041
Pd-100	84.00		0.003630 ± 0.000923
Cs-137	661.62		0.001072 ± 0.0003851
Hg-197	77.35		0.01991 ± 0.001078
Tl-208	510.72		0.009152 ± 0.0007574
Tl-208	583.14		0.005385 ± 0.0005031
Pb-210	46.52		0.02000 ± 0.00118
Pb-212	238.63		0.02298 ± 0.001021
Pb-212	300.09		0.001241 ± 0.0005663
Pb-214	53.20		0.002037 ± 0.0008537
Pb-214	241.92		0.005350 ± 0.0007127
Pb-214	295.22		0.007692 ± 0.0007345
Pb-214	351.99		0.01378 ± 0.0008111
Bi-212	727.17		0.001216 ± 0.0003955
Bi-214	609.32		0.01031 ± 0.0006356
Bi-214	768.36		0.0007720 ± 0.0003542
Bi-214	1120.28		0.001762 ± 0.0003405
Bi-214	1238.11		0.0004828 ± 0.000286
Bi-214	1377.65		0.0004233 ± 0.0001953
Bi-214	1764.51		0.001566 ± 0.0002437

Bi-214	2204.12	0.0002786	± 0.0001213
Ac-228	209.40	0.001450	± 0.0006258
Ac-228	270.30	0.001510	± 0.000664
Ac-228	328.00	0.001183	± 0.0005089
Ac-228	338.40	0.003713	± 0.0006121
Ac-228	463.00	0.0008211	± 0.0004135
Ac-228	911.07	0.003119	± 0.0004326
Ac-228	964.60	0.0006208	± 0.0002827
Ac-228	968.90	0.001767	± 0.0003279
Th-231	89.95	0.005051	± 0.000729
Th-234	63.29	0.01710	± 0.001248
Th-234	92.38	0.02835	± 0.001228
U-235	143.76	0.002344	± 0.0008245
U-235	185.72	0.01155	± 0.0009214
Np-237	86.49	0.007633	± 0.000884

Errors Quoted at 2 Sigma

MDA's Quoted at 1.645 Sigma

PEAKS NOT IDENTIFIED in MCARD#1

ROI (#)	Centroid keV	Net Count Rate Flag	Count Rate cps	Error cps
1	10.89		0.06944	± 0.001465
2	15.65		0.04243	± 0.001475
12	98.04		0.001835	± 0.0007345
31	786.56		0.0005237	± 0.000289
33	933.67		0.0004885	± 0.0002694

Errors Quoted at 2 Sigma

ACTIVITY INFORMATION with MDA's for MCARD#1

Name	Energy keV	Activity Flag	Count Rate cps	Error cps	MDA cps	Error
K-40	1460.75		0.01035	± 0.0005396	0.0003892	
Pd-100	74.80		0.01331	± 0.001041	0.001464	
Pd-100	84.00		0.003630	± 0.000923	0.001457	
Cs-137	661.62		0.001072	± 0.0003851	0.0005937	
Hg-197	77.35		0.01991	± 0.001078	0.001393	
Tl-208	510.72		0.009152	± 0.0007574	0.001005	
Tl-208	583.14		0.005385	± 0.0005031	0.0006053	
Pb-210	46.52		0.02000	± 0.00118	0.001602	
Pb-212	238.63		0.02298	± 0.001021	0.001191	
Pb-212	300.09		0.001241	± 0.0005663	0.0009045	
Pb-214	53.20		0.002037	± 0.0008537	0.001374	
Pb-214	241.92		0.005350	± 0.0007127	0.001035	
Pb-214	295.22		0.007692	± 0.0007345	0.001005	
Pb-214	351.99		0.01378	± 0.0008111	0.0009733	

Bi-212	727.17	0.001216	± 0.0003955	0.0006048
Bi-214	609.32	0.01031	± 0.0006356	0.0006844
Bi-214	768.36	0.0007720	± 0.0003542	0.0005553
Bi-214	1120.28	0.001762	± 0.0003405	0.0004666
Bi-214	1238.11	0.0004828	± 0.000286	0.0004528
Bi-214	1377.65	0.0004233	± 0.0001953	0.0002927
Bi-214	1764.51	0.001566	± 0.0002437	0.0002658
Bi-214	2204.12	0.0002786	± 0.0001213	0.0001652
Ac-228	209.40	0.001450	± 0.0006258	0.001000
Ac-228	270.30	0.001510	± 0.000664	0.001064
Ac-228	328.00	0.001183	± 0.0005089	0.0008074
Ac-228	338.40	0.003713	± 0.0006121	0.0008995
Ac-228	463.00	0.0008211	± 0.0004135	0.0006569
Ac-228	911.07	0.003119	± 0.0004326	0.0005734
Ac-228	964.60	0.0006208	± 0.0002827	0.0004369
Ac-228	968.90	0.001767	± 0.0003279	0.0004403
Th-231	89.95	0.005051	± 0.000729	0.001075
Th-234	63.29	0.01710	± 0.001248	0.001788
Th-234	92.38	0.02835	± 0.001228	0.001534
U-235	143.76	0.002344	± 0.0008245	0.001317
U-235	185.72	0.01155	± 0.0009214	0.001270
Np-237	86.49	0.007633	± 0.000884	0.001295

Errors Quoted at 2 Sigma

MDA's Quoted at 1.645 Sigma

PEAKS NOT IDENTIFIED in MCARD#1

ROI (#)	Centroid keV	Net Count Flag	Count Rate cps	Error cps	MDA Rate cps	Error
1	10.89		0.06944	± 0.001465	0.001223	
2	15.65		0.04243	± 0.001475	0.001812	
12	98.04		0.001835	± 0.0007345	0.001175	
31	786.56		0.0005237	± 0.000289	0.0004552	
33	933.67		0.0004885	± 0.0002694	0.0004228	

Errors Quoted at 2 Sigma

ACTIVITY INFORMATION with FWHM for MCARD#1

Name	Library Energy keV	Measured Energy keV	L - M	FWHM	Activity Flag	Activity cps	Error cps
K-40	1460.75	1460.70	0.05	2.30		0.01035	± 0.0005396
Pd-100	74.80	74.68	0.12	1.37		0.01331	± 0.001041
Pd-100	84.00	84.08	-0.08	1.36		0.003630	± 0.000923
Cs-137	661.62	661.53	0.09	1.47		0.001072	± 0.0003851
Hg-197	77.35	76.91	0.44	1.27		0.01991	± 0.001078
Tl-208	510.72	510.75	-0.03	2.33		0.009152	± 0.0007574
Tl-208	583.14	583.12	0.02	1.37		0.005385	± 0.0005031

Pb-210	46.52	46.40	0.12	1.26	0.02000	± 0.00118
Pb-212	238.63	238.55	0.08	1.38	0.02298	± 0.001021
Pb-212	300.09	300.24	-0.15		0.001241	± 0.0005663
Pb-214	53.20	53.36	-0.16	1.48	0.002037	± 0.0008537
Pb-214	241.92	241.61	0.31	1.92	0.005350	± 0.0007127
Pb-214	295.22	295.14	0.08	1.10	0.007692	± 0.0007345
Pb-214	351.99	351.79	0.20	1.55	0.01378	± 0.0008111
Bi-212	727.17	727.07	0.10	1.57	0.001216	± 0.0003955
Bi-214	609.32	609.27	0.05	1.68	0.01031	± 0.0006356
Bi-214	768.36	768.71	-0.35	0.99	0.0007720	± 0.0003542
Bi-214	1120.28	1120.17	0.11	1.82	0.001762	± 0.0003405
Bi-214	1238.11	1238.34	-0.23	2.31	0.0004828	± 0.000286
Bi-214	1377.65	1377.52	0.13	1.53	0.0004233	± 0.0001953
Bi-214	1764.51	1764.20	0.31	2.24	0.001566	± 0.0002437
Bi-214	2204.12	2204.05	0.07	1.21	0.0002786	± 0.0001213
Ac-228	209.40	209.05	0.35	1.33	0.001450	± 0.0006258
Ac-228	270.30	270.07	0.23	1.66	0.001510	± 0.000664
Ac-228	328.00	327.86	0.14	1.20	0.001183	± 0.0005089
Ac-228	338.40	338.20	0.20	1.80	0.003713	± 0.0006121
Ac-228	463.00	462.77	0.23	0.98	0.0008211	± 0.0004135
Ac-228	911.07	911.19	-0.12	1.90	0.003119	± 0.0004326
Ac-228	964.60	964.92	-0.32	1.11	0.0006208	± 0.0002827
Ac-228	968.90	969.01	-0.11	1.86	0.001767	± 0.0003279
Th-231	89.95	89.78	0.17	1.31	0.005051	± 0.000729
Th-234	63.29	63.15	0.14	1.27	0.01710	± 0.001248
Th-234	92.38	92.52	-0.14	1.57	0.02835	± 0.001228
U-235	143.76	143.71	0.05	1.13	0.002344	± 0.0008245
U-235	185.72	185.73	-0.01	1.45	0.01155	± 0.0009214
Np-237	86.49	87.09	-0.60	1.46	0.007633	± 0.000884

Errors Quoted at 2 Sigma
MDA's Quoted at 1.645 Sigma

PEAKS NOT IDENTIFIED in MCARD#1

ROI (#)	Centroid keV	FWHM keV	Net Count Rate cps	Rate Error cps	Rate Error cps
1	10.89	3.27	0.06944	± 0.001465	
2	15.65	2.28	0.04243	± 0.001475	
12	98.04	1.05	0.001835	± 0.0007345	
31	786.56	1.02	0.0005237	± 0.000289	
33	933.67		0.0004885	± 0.0002694	

Errors Quoted at 2 Sigma

1.2. Espectro

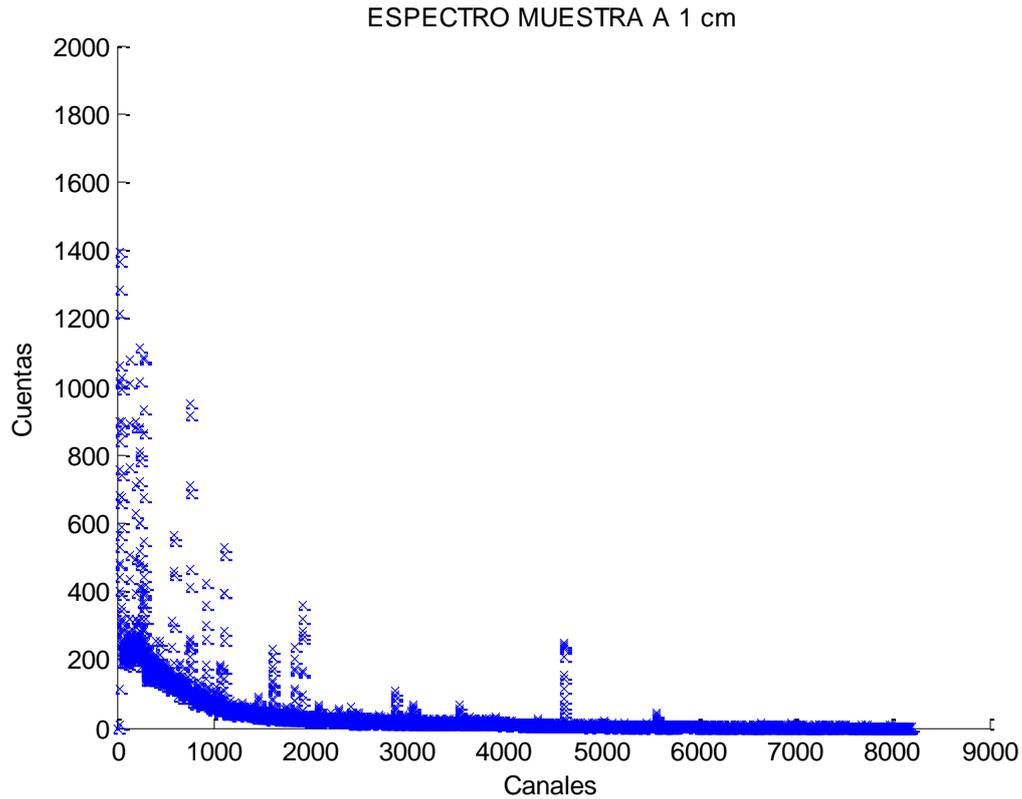


Fig. 33. Espectro a 1 cm de profundidad.

2. Ficheros Fondo

2.1. Formato Archivo .lst.

Aptec PCMCA/WIN Spectrum
3/May/2015 18:26:02

HEADER INFORMATION in MCARD#1

Identification	Acquisition
User :	Started : 30/Apr/2015 10:41:58
MCARD : 1	Stopped : 3/May/2015 10:41:58
Detector :	True Time : 259200.000 sec
Geometry :	Live Time : 259196.344 sec
Sample :	Dead Time : 0.00 %
Channels : 8192	Gross Count : 256131 counts
	LTC : 1
	Gross Rate : 0.988174 cps

Sample

Energy Calibration 17/Mar/2015 12:46:19
Isotope Library isotope.lib 29/Jul/1998 6:31:00

ROI COUNT INFORMATION in MCARD#1

ROI (#)	Channels Start - Stop	Energy keV Start - Stop	Net Counts	Background Counts	Gross Counts
1	227 - 234	73.84 - 76.05	262	1379	1641
2	233 - 241	75.73 - 78.26	438	1516	1954
3	265 - 274	85.84 - 88.68	148	1539	1687
4	275 - 282	89.00 - 91.21	196	1268	1464
5	397 - 407	127.52 - 130.68	-32	1675	1643
6	842 - 855	268.06 - 272.16	79	1321	1400
7	1056 - 1071	335.67 - 340.41	131	1144	1275
8	1453 - 1459	461.20 - 463.10	31	289	320
9	1604 - 1616	508.98 - 512.78	1153	921	2074
10	1828 - 1847	579.89 - 585.91	232	657	889
11	2866 - 2885	908.69 - 914.71	150	387	537
12	2288 - 2302	725.59 - 730.02	55	354	409
13	2702 - 2725	856.75 - 864.03	9	499	508
14	937 - 953	298.07 - 303.12	184	1309	1493
15	1027 - 1040	326.51 - 330.62	37	994	1031
16	2495 - 2519	791.17 - 798.77	64	570	634
17	257 - 266	83.31 - 86.16	243	1499	1742
18	283 - 293	91.52 - 94.68	2068	1797	3865
19	1280 - 1295	406.48 - 411.23	-3	794	791
20	1099 - 1114	349.26 - 354.00	1294	1107	2401
21	921 - 934	293.01 - 297.12	841	1081	1922
22	1915 - 1926	607.44 - 610.92	821	461	1281
23	742 - 755	236.47 - 240.58	441	1681	2122
24	755 - 763	240.58 - 243.10	195	1047	1242
25	571 - 592	182.47 - 189.10	1527	2955	4482
26	185 - 202	60.57 - 65.94	1192	2808	4000
27	4600 - 4627	1456.43 - 1464.94	290	243	533
28	5561 - 5590	1759.50 - 1768.67	305	110	415
29	131 - 149	43.51 - 49.20	256	3040	3296
30	3527 - 3544	1117.86 - 1123.23	259	284	543
31	2075 - 2094	658.11 - 664.13	2	580	582
32	1497 - 1514	475.12 - 480.50	46	756	802
33	652 - 661	208.05 - 210.89	-57	1260	1203
34	3047 - 3068	966.00 - 972.65	-11	479	468

ROI STATISTICS INFORMATION in MCARD#1

ROI (#)	Error %	Centroid keV	FWHM keV	FWTM ratio	FWTM/FWHM H/L ratio
1	42.00 %	75.43			
2	26.87 %	77.00	2.33		
3	77.00 %	86.82	0.98		
4	53.41 %	89.32	0.42		
5	2000.00 %	129.10			
6	131.50 %	270.11			

7	75.09 %	337.74		3.45		5.282/5.631
8	157.91 %	462.62	0.73			
9	9.50 %	510.78	2.48			
10	33.97 %	583.03	1.82			
11	40.43 %	911.84	0.34	3.29	9.79	4.593/5.803
12	100.45 %	727.88	0.92			
13	721.28 %	860.39				
14	57.69 %	299.81				
15	243.24 %	327.99		2.11		2.593/4.068
16	108.43 %	794.97				
17	46.79 %	84.29				
18	7.28 %	92.76	1.92			
19	2000.00 %	408.86				
20	9.15 %	351.61	2.23	3.73	1.67	6.056/5.760
21	13.04 %	295.20	2.34			
22	10.17 %	609.19	2.27			
23	28.00 %	238.60	2.11	3.22	1.52	5.262/4.919
24	49.07 %	241.96				
25	11.30 %	185.89	2.20	4.30	1.95	6.796/6.820
26	13.84 %	63.49	1.80	3.07	1.70	4.619/5.088
27	19.23 %	1460.81	2.34	4.99	2.13	8.557/7.270
28	15.02 %	1763.65	1.98	5.97	3.02	8.314/10.56
29	62.19 %	46.85	1.43	2.53	1.77	3.082/4.927
30	22.16 %	1120.74	2.92	4.22	1.45	6.869/6.475
31	2000.00 %	661.12				
32	171.62 %	477.81				
33	2000.00 %	209.47				
34	2000.00 %	969.32				

Errors Quoted at 2 Sigma

ACTIVITY INFORMATION for MCArd#1

Name	Energy keV	Activity Flag cps	Error cps
Be-7	477.56	<	0.0005040
K-40	1460.75		0.001118 ± 0.000215
Pd-100	74.80		0.001010 ± 0.0004241
Pd-100	84.00		0.0009388 ± 0.0004393
Cs-137	661.62	<	0.0004428
Hg-197	77.35		0.001691 ± 0.0004545
Tl-208	510.72		0.004447 ± 0.0004223
Tl-208	583.14		0.0008931 ± 0.0003034
Tl-208	860.47	<	0.0004115
Pb-210	46.52	<	0.001000
Pb-212	238.63		0.001700 ± 0.0004759
Pb-212	300.09		0.0007081 ± 0.0004085
Pb-214	241.92		0.0007523 ± 0.0003692
Pb-214	295.22		0.003244 ± 0.0004229
Pb-214	351.99		0.004994 ± 0.000457

Bi-212	727.17	<	0.0003482	
Bi-214	609.32		0.003166 ± 0.000322	
Bi-214	1120.28		0.001001 ± 0.0002218	
Bi-214	1764.51		0.001177 ± 0.0001768	
Ra-226	185.99		0.005890 ± 0.0006654	
Ac-228	129.10	<	0.0007451	
Ac-228	209.40	<	0.0006476	
Ac-228	270.30	<	0.0006628	
Ac-228	328.00	<	0.0005764	
Ac-228	338.40	<	0.0006176	
Ac-228	409.40	<	0.0005163	
Ac-228	463.00	<	0.0003155	
Ac-228	794.80	<	0.0004390	
Ac-228	911.07		0.0005800 ± 0.0002345	
Ac-228	968.90	<	0.0004031	
Th-231	89.95		0.0007551 ± 0.0004033	
Th-234	63.29		0.004599 ± 0.0006367	
Th-234	92.80		0.007978 ± 0.0005806	
Np-237	86.49	<	0.0007148	

Errors Quoted at 2 Sigma

MDA's Quoted at 1.645 Sigma

ACTIVITY INFORMATION with MDA's for MCARD#1

Name	Energy	Activity	Error	MDA	Error
	keV	Flag	cps	cps	cps
Be-7	477.56	<	0.0005040	0.0005040	
K-40	1460.75		0.001118 ± 0.000215	0.0002904	
Pd-100	74.80		0.001010 ± 0.0004241	0.0006771	
Pd-100	84.00		0.0009388 ± 0.0004393	0.0007054	
Cs-137	661.62	<	0.0004428	0.0004428	
Hg-197	77.35		0.001691 ± 0.0004545	0.0007093	
Tl-208	510.72		0.004447 ± 0.0004223	0.0005553	
Tl-208	583.14		0.0008931 ± 0.0003034	0.0004707	
Tl-208	860.47	<	0.0004115	0.0004115	
Pb-210	46.52	<	0.001000	0.001000	
Pb-212	238.63		0.001700 ± 0.0004759	0.0007465	
Pb-212	300.09		0.0007081 ± 0.0004085	0.0006600	
Pb-214	241.92		0.0007523 ± 0.0003692	0.0005913	
Pb-214	295.22		0.003244 ± 0.0004229	0.0006007	
Pb-214	351.99		0.004994 ± 0.000457	0.0006076	
Bi-212	727.17	<	0.0003482	0.0003482	
Bi-214	609.32		0.003166 ± 0.000322	0.0003956	
Bi-214	1120.28		0.001001 ± 0.0002218	0.0003127	
Bi-214	1764.51		0.001177 ± 0.0001768	0.0001987	
Ra-226	185.99		0.005890 ± 0.0006654	0.0009863	
Ac-228	129.10	<	0.0007451	0.0007451	
Ac-228	209.40	<	0.0006476	0.0006476	
Ac-228	270.30	<	0.0006628	0.0006628	

Ac-228	328.00	<	0.0005764	0.0005764
Ac-228	338.40	<	0.0006176	0.0006176
Ac-228	409.40	<	0.0005163	0.0005163
Ac-228	463.00	<	0.0003155	0.0003155
Ac-228	794.80	<	0.0004390	0.0004390
Ac-228	911.07		0.0005800 ± 0.0002345	0.0003634
Ac-228	968.90	<	0.0004031	0.0004031
Th-231	89.95		0.0007551 ± 0.0004033	0.0006497
Th-234	63.29		0.004599 ± 0.0006367	0.0009617
Th-234	92.80		0.007978 ± 0.0005806	0.0007714
Np-237	86.49	<	0.0007148	0.0007148

Errors Quoted at 2 Sigma

MDA's Quoted at 1.645 Sigma

ACTIVITY INFORMATION with FWHM for MCARD#1

Name	Library	Energy keV	Measured	L - M	FWHM	Activity	Flag	cps	Error
									cps
Be-7		477.56	477.81	-0.25		<		0.0005040	
K-40		1460.75	1460.81	-0.06	2.34			0.001118	± 0.000215
Pd-100		74.80	75.43	-0.63				0.001010	± 0.0004241
Pd-100		84.00	84.29	-0.29				0.0009388	± 0.0004393
Cs-137		661.62	661.12	0.50		<		0.0004428	
Hg-197		77.35	77.00	0.35	2.33			0.001691	± 0.0004545
Tl-208		510.72	510.78	-0.06	2.48			0.004447	± 0.0004223
Tl-208		583.14	583.03	0.11	1.82			0.0008931	± 0.0003034
Tl-208		860.47	860.39	0.08		<		0.0004115	
Pb-210		46.52	46.85	-0.33	1.43	<		0.001000	
Pb-212		238.63	238.60	0.03	2.11			0.001700	± 0.0004759
Pb-212		300.09	299.81	0.28				0.0007081	± 0.0004085
Pb-214		241.92	241.96	-0.04				0.0007523	± 0.0003692
Pb-214		295.22	295.20	0.02	2.34			0.003244	± 0.0004229
Pb-214		351.99	351.61	0.38	2.23			0.004994	± 0.000457
Bi-212		727.17	727.88	-0.71	0.92	<		0.0003482	
Bi-214		609.32	609.19	0.13	2.27			0.003166	± 0.000322
Bi-214		1120.28	1120.74	-0.46	2.92			0.001001	± 0.0002218
Bi-214		1764.51	1763.65	0.86	1.98			0.001177	± 0.0001768
Ra-226		185.99	185.89	0.10	2.20			0.005890	± 0.0006654
Ac-228		129.10	129.10	-0.00		<		0.0007451	
Ac-228		209.40	209.47	-0.07		<		0.0006476	
Ac-228		270.30	270.11	0.19		<		0.0006628	
Ac-228		328.00	327.99	0.01		<		0.0005764	
Ac-228		338.40	337.74	0.66		<		0.0006176	
Ac-228		409.40	408.86	0.54		<		0.0005163	
Ac-228		463.00	462.62	0.38	0.73	<		0.0003155	
Ac-228		794.80	794.97	-0.17		<		0.0004390	
Ac-228		911.07	911.84	-0.77	0.34			0.0005800	± 0.0002345
Ac-228		968.90	969.32	-0.42		<		0.0004031	
Th-231		89.95	89.32	0.63	0.42			0.0007551	± 0.0004033

Th-234	63.29	63.49	-0.20	1.80	0.004599	± 0.0006367
Th-234	92.80	92.76	0.04	1.92	0.007978	± 0.0005806
Np-237	86.49	86.82	-0.33	0.98	<	0.0007148

Errors Quoted at 2 Sigma

MDA's Quoted at 1.645 Sigma

Flags Meaning

 < MDA value

2.2. Espectro

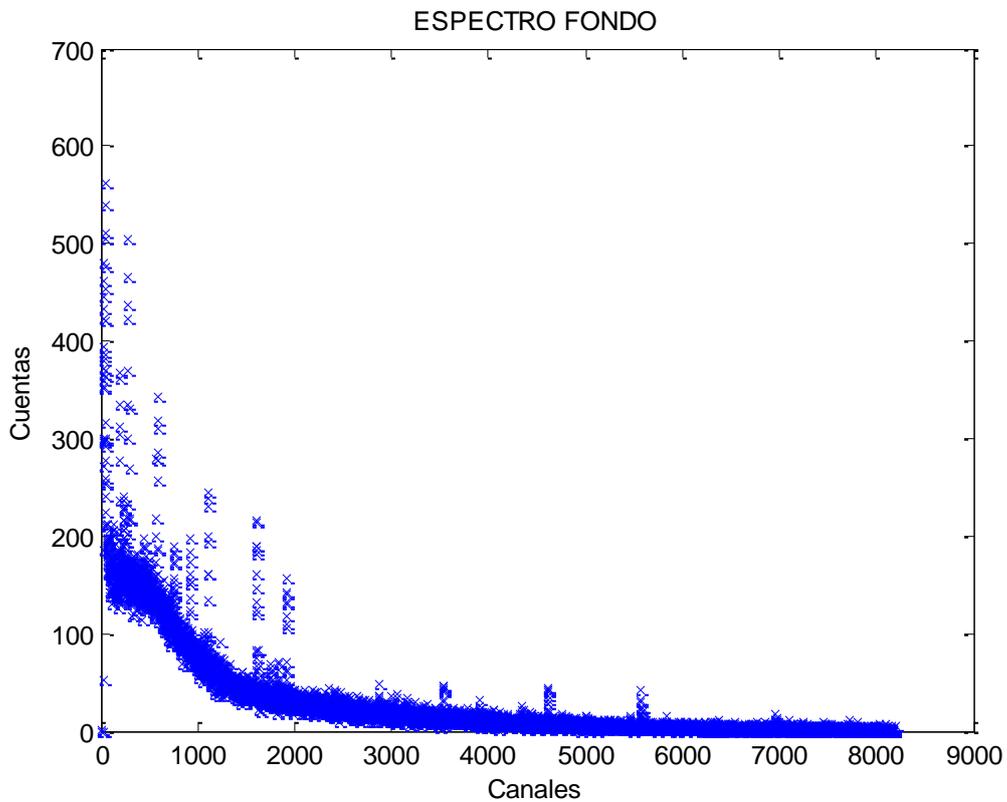


Fig. 34. Espectro del fondo ambiental.

3. Ficheros Muestra IAEA-RGU-1

3.1. Formato Archivo .lst.

Aptec PCMCA/WIN Spectrum
 12/Feb/2017 8:23:59

HEADER INFORMATION in MCard#1

Identification	Acquisition
User :	Started : 10/Feb/2017 5:38:35

MCArd : 1 Stopped : 11/Feb/2017 5:38:56
 Detector : True Time : 86420.175 sec
 Geometry : Live Time : 86400.000 sec
 Sample : Dead Time : 0.02 %
 Channels : 8192 Gross Count : 2054237 counts
 LTC : 1
 Gross Rate : 23.7759 cps

Sample

Energy Calibration 7/Feb/2017 1:31:03
 Isotope Library isotope.lib 29/Jul/1998 6:31:00

ROI COUNT INFORMATION in MCArd#1

ROI (#)	Channels Start - Stop	Energy keV Start - Stop	Net Counts	Background Counts	Gross Counts
1	29 - 40	11.14 - 14.62	37181	4833	42014
2	40 - 52	14.62 - 18.41	47759	12974	60733
3	52 - 62	18.41 - 21.57	10046	17240	27286
4	185 - 201	60.46 - 65.52	59795	42079	101874
5	246 - 253	79.76 - 81.97	1465	22882	24347
6	253 - 267	81.97 - 86.40	9613	42724	52337
7	273 - 299	88.30 - 96.52	160639	68710	229349
8	299 - 313	96.52 - 100.95	58884	32512	91396
9	333 - 366	107.28 - 117.72	40392	57001	97393
10	440 - 466	141.14 - 149.37	9252	33624	42876
11	499 - 523	159.82 - 167.42	4679	25100	29779
12	566 - 596	181.03 - 190.53	51368	24449	75817
13	638 - 649	203.83 - 207.31	3691	8424	12115
14	800 - 821	255.14 - 261.79	1070	9838	10908
15	1599 - 1617	508.29 - 513.99	475	3950	4425
16	2400 - 2430	762.01 - 771.51	1511	3770	5281
17	3149 - 3169	999.14 - 1005.47	3087	1092	4179

ROI STATISTICS INFORMATION in MCArd#1

ROI (#)	Error %	Centroid keV	FWHM keV	FWTM ratio	FWTM/FWHM ratio	H/L
1	1.16 %	12.98				
2	1.14 %	16.17	1.97			
3	4.20 %	19.39				
4	1.27 %	63.28	1.34	2.58	1.92	3.992/4.165
5	29.66 %	81.25	1.38			
6	6.41 %	84.13	1.53			
7	0.68 %	92.60	1.67	4.46	2.68	9.608/4.501
8	1.20 %	98.43	1.44	2.74	1.91	4.318/4.350
9	1.95 %	111.18	2.66	7.36	2.77	14.77/8.496

10	5.98 %	143.82	1.46	2.52	1.72	4.025/3.922
11	10.01 %	163.42	1.46	2.65	1.81	4.516/3.845
12	1.23 %	185.75	1.37	2.69	1.96	4.249/4.261
13	7.77 %	205.39	1.39	2.42	1.75	3.905/3.747
14	26.91 %	258.42	1.23	2.61	2.12	3.211/5.031
15	38.50 %	511.17	2.11	3.80	1.80	7.047/4.960
16	12.59 %	766.89	1.74	3.66	2.10	5.596/5.971
17	4.70 %	1001.64	1.94	3.52	1.82	5.556/5.580

Errors Quoted at 2 Sigma

ACTIVITY INFORMATION for MCARD#1

Name	Energy keV	Activity Flag cps	Error cps

ANN	511.00	ID only	
Au-195	98.86		0.6815 ± 0.008148
Th-231	81.24		0.01696 ± 0.005031
Th-231	84.21		0.1113 ± 0.007137
Th-234	63.29		0.6921 ± 0.008783
Th-234	92.80		1.859 ± 0.01264
U-235	143.76		0.1071 ± 0.006402
U-235	163.35		0.05416 ± 0.005423
U-235	185.72		0.5945 ± 0.00733
U-235	205.31		0.04272 ± 0.003317

Errors Quoted at 2 Sigma

MDA's Quoted at 1.645 Sigma

PEAKS NOT IDENTIFIED in MCARD#1

ROI (#)	Centroid keV	Net Count Flag cps	Rate cps	Error cps

1	12.98		0.4303	± 0.00501
2	16.17		0.5528	± 0.006284
3	19.39		0.1163	± 0.004885
9	111.18		0.4675	± 0.009096
14	258.42		0.01239	± 0.003334
16	766.89		0.01749	± 0.002202
17	1001.64		0.03573	± 0.001681

Errors Quoted at 2 Sigma

ACTIVITY INFORMATION with MDA's for MCARD#1

Name	Energy keV	Activity Flag cps	Error cps	MDA cps	Error

ANN	511.00	ID only		0.003416	
Au-195	98.86		0.6815 ± 0.008148	0.009741	
Th-231	81.24		0.01696 ± 0.005031	0.008177	

Th-231	84.21	0.1113	± 0.007137	0.01116
Th-234	63.29	0.6921	± 0.008783	0.01108
Th-234	92.80	1.859	± 0.01264	0.01415
U-235	143.76	0.1071	± 0.006402	0.009906
U-235	163.35	0.05416	± 0.005423	0.008563
U-235	185.72	0.5945	± 0.00733	0.008452
U-235	205.31	0.04272	± 0.003317	0.004974

Errors Quoted at 2 Sigma
MDA's Quoted at 1.645 Sigma

PEAKS NOT IDENTIFIED in MCARD#1

ROI (#)	Centroid keV	Net Count	Rate cps	Error cps	MDA Rate cps	Error
1	12.98	0.4303	± 0.00501	0.003775		
2	16.17	0.5528	± 0.006284	0.006165		
3	19.39	0.1163	± 0.004885	0.007102		
9	111.18	0.4675	± 0.009096	0.01289		
14	258.42	0.01239	± 0.003334	0.005373		
16	766.89	0.01749	± 0.002202	0.003338		
17	1001.64	0.03573	± 0.001681	0.001811		

Errors Quoted at 2 Sigma

ACTIVITY INFORMATION with FWHM for MCARD#1

Name	Library Energy keV	Measured Energy keV	L - M	FWHM	Activity Flag	Rate cps	Error cps
ANN	511.00	511.17	-0.17	2.11	ID only		
Au-195	98.86	98.43	0.43	1.44		0.6815	± 0.008148
Th-231	81.24	81.25	-0.01	1.38		0.01696	± 0.005031
Th-231	84.21	84.13	0.08	1.53		0.1113	± 0.007137
Th-234	63.29	63.28	0.01	1.34		0.6921	± 0.008783
Th-234	92.80	92.60	0.20	1.67		1.859	± 0.01264
U-235	143.76	143.82	-0.06	1.46		0.1071	± 0.006402
U-235	163.35	163.42	-0.07	1.46		0.05416	± 0.005423
U-235	185.72	185.75	-0.03	1.37		0.5945	± 0.00733
U-235	205.31	205.39	-0.08	1.39		0.04272	± 0.003317

Errors Quoted at 2 Sigma

MDA's Quoted at 1.645 Sigma

PEAKS NOT IDENTIFIED in MCARD#1

ROI (#)	Centroid keV	FWHM keV	Net Count	Rate cps	Error
1	12.98		0.4303	± 0.00501	

2	16.17	1.97	0.5528	± 0.006284
3	19.39		0.1163	± 0.004885
9	111.18	2.66	0.4675	± 0.009096
14	258.42	1.23	0.01239	± 0.003334
16	766.89	1.74	0.01749	± 0.002202
17	1001.64	1.94	0.03573	± 0.001681

Errors Quoted at 2 Sigma

Flags Meaning

 ID only Not Quantified

3.2. Espectro

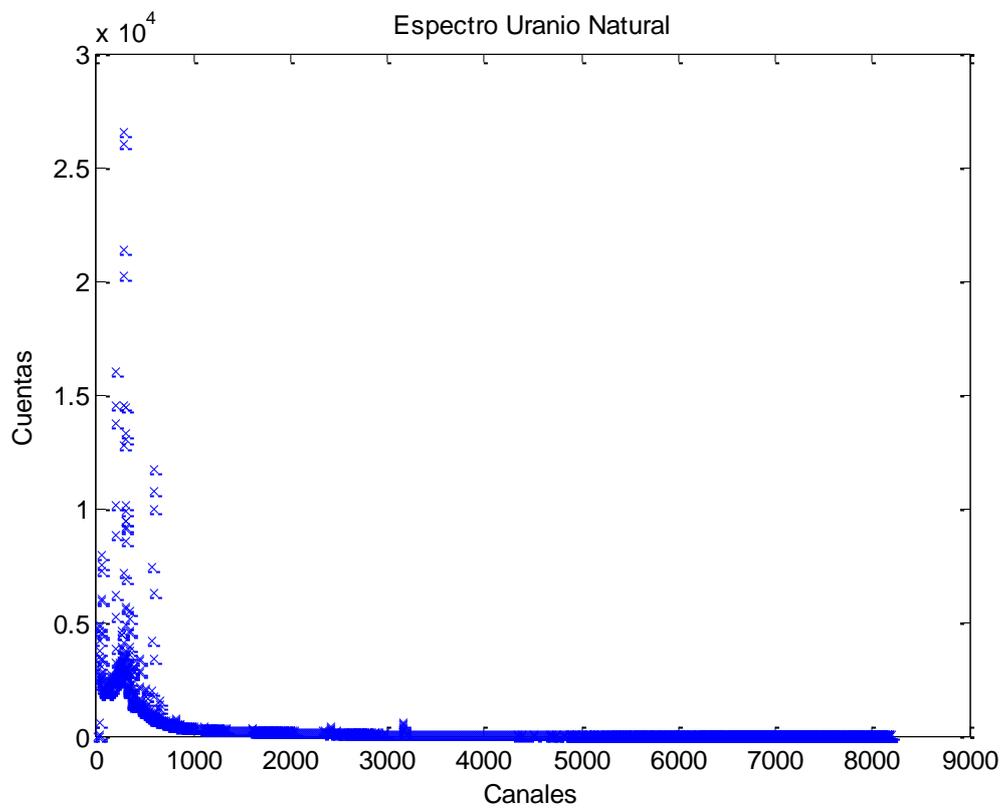


Fig. 35. Espectro obtenido para muestra calibrado.