

Laboratorio 5 - UBA

Primer Cuatrimestre de 1999

DETERMINACION DE LA VIDA MEDIA DEL ^{40}K RADIATIVIDAD NATURAL

Autores: M.A. Agadakis. R.R. Yáñez.

Por medio del estudio de la emisión de rayos gamma de 1461 keV de energía (correspondiente al decaimiento del isótopo 40 del potasio) por parte de muestras de una sal común (KCl), se determinó la vida media del mismo. El valor obtenido fue $T_{1/2}=(1.48 \pm 0.44) \cdot 10^9$ años.

INTRODUCCION.

Algunos tipos de radiactividad ocurren naturalmente en la tierra. Algunas de estas especies radiactivas tienen vidas medias comparables con la edad de la tierra ($6 \cdot 10^9$ años) lo que indica que no han decaído completamente desde su formación. Entre estas son notables las del U-238, U-235 y Th-232 (primordiales). Entre estas también se encuentra el potasio 40 (radioisótopo natural del potasio), la mayor fuente de radiación en el cuerpo debida a la presencia de potasio en los tejidos. Además, la abundancia de potasio en la tierra esta asociada con su temperatura interna y es en parte responsable de la presencia de argón en la atmósfera. Aparte de estas especies radiactivas de 10^9 años de vida media ($T_{1/2}$), hay isótopos "hijas", producto del decaimiento radiactivo de estas. Otras fuentes de radiactividad natural están dadas en la alta atmósfera por el permanente bombardeo de rayos cósmicos (tal es el caso del ^{14}C [5720 años]; tritio [12.3 años]; ^7Be [53 días]; ^{10}Be [$2.7 \cdot 10^6$ años]) o la caída de meteoritos (^{37}Ar).

El potasio 40 es un isótopo radiactivo cuyo porcentaje relativo de abundancia es de 0.0118% respecto del potasio natural. A su vez el potasio natural se encuentra presente en un 52.43% en el cloruro de potasio (KCl), la sal utilizada en el experimento descrito en este trabajo.

Se sabe que el ^{40}K decae a ^{40}Ar (10.7%) por captura electrónica, y a ^{40}Ca por decaimiento β^- (89.3%). Estudiando su espectro de energías con un detector de centelleo de yoduro de sodio, se observo el primero de los casos, detectando su pico de emisiones gamma correspondiente de 1461 KeV. Con los datos extraídos de los espectros de muestra de distintas masas de la sal, calculamos el tiempo de vida media del isótopo y la actividad especifica de la sal.

DESAROLLO TEORICO.

La actividad de una fuente radiactiva está dada por el numero de decaimientos por unidad de tiempo.

$$A(t) = - \frac{dN(t)}{dt} = \lambda \cdot N \quad (1)$$

N = numero de átomos radiactivos presentes en la muestra.
 λ = cte. de decaimiento.

Entonces,
$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Para la vida media (tiempo necesario para que la actividad decaiga a la mitad de su valor) tenemos :

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (3)$$

Vemos de (1) que si determinamos la actividad en función de la masa se puede despejar $T_{1/2}$. Utilizando muestras de distintas masas de KCl se midió su actividad y se determinó la vida media del potasio 40.

Tomando en cuenta, como mencionamos antes, que la vida media del ^{40}K es muy grande respecto del tiempo en que se toman las medidas, se puede asumir que tanto N como la tasa de decaimiento son constantes. De las ecuaciones (1) y (3):

$$N = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \frac{\partial N}{\partial t} \quad (4)$$

En el presente caso, N se puede expresar como:

$$N = \frac{(M_{\text{KCL}} \cdot N_A \cdot P_{40\text{k}})}{Mr} \quad (5)$$

donde : M_{KCL} = Masa de sal,
 N_A = numero de Avogadro,
 $P_{40\text{k}}$ = % de ^{40}K en potasio natural,
 Mr = Masa molecular relativa de KCl.

Para el decaimiento se tiene:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\text{CPS}}{e \cdot p_g} \quad (6)$$

donde : CPS = cantidad de cuentas por segundo

ε = eficiencia del detector
 p_γ = porcentaje relativo de emisión gama del decaimiento del ^{40}K .

Así, midiendo las cuentas por segundo (CPS) para distintas masas, se puede hallar la vida media.

Tomando modulo en (1) y de (5) y (6):

$$\text{CPS} = \frac{N_A \cdot \ln 2 \cdot p_{40k} \cdot p_g \cdot e}{M_r \cdot T_{1/2}} M_{\text{KCL}} \quad (7)$$

Definiremos la cantidad $\frac{N_A \cdot \ln 2 \cdot p_{40k} \cdot p_g \cdot e}{M_r \cdot T_{1/2}}$ como m.

Mediante una regresión lineal de los puntos del gráfico de CPS vs M_{KCL} ; se obtiene la pendiente m de la recta de donde se puede despejar $T_{1/2}$.

El valor m representa las CPS por unidad de masa de KCL, la actividad específica del potasio es (de (6)):

$$S = \frac{m}{e \cdot p_g \cdot p_k} \quad (8)$$

donde p_k es el porcentaje relativo de K en KCl.

La dependencia de la actividad de la sal con la masa viene dada por (de (1), (6) y (7)):

$$A(M_{\text{KCL}}) = \frac{m}{e \cdot p_g} \cdot M_{\text{KCL}} = b \cdot M_{\text{KCL}} \quad (9)$$

DESARROLLO EXPERIMENTAL.

El diagrama de la figura 1 muestra el circuito electrónico usado.

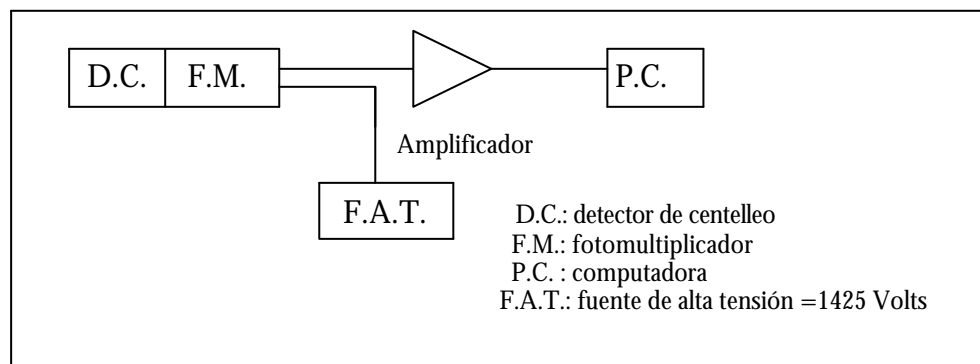


Figura 1: Diagrama del dispositivo electrónico utilizado.

Se utilizó un contador de centelleo de yoduro de sodio dopado con talio [NaI(Tl)]. El contador se alimenta con una fuente de alta tensión. La tensión de salida del fotomultiplicador es amplificada y medida con el analizador multicanal en la computadora.

Esta, con el programa PCA, mide el potencial de los pulsos del fotomultiplicador que son proporcionales a la energía de la emisión. Así, el programa levanta un histograma del número de cuentas detectadas en cada uno de los canales del analizador multicanal, a cada uno de los cuales es asociada una energía diferente. Se utilizaron para levantar los espectros, 1024 de los canales disponibles del analizador.

Se procedió primero a calibrar el contador. Para ello, se levantaron durante algunos minutos los espectros de fuentes conocidas (cobalto 60 y cesio 137) y se identificaron sus picos; con estos se llevó a cabo la calibración en energía del sistema de adquisición usado. Se verificó luego la calibración levantando el espectro de otra de las fuentes radiactivas.

Seguidamente se dispuso el arreglo experimental de la figura 2.

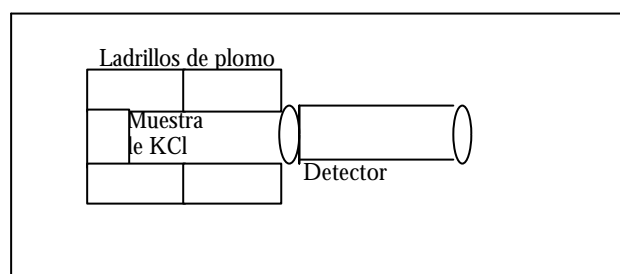


Figura 2: Disposición de las muestras.

Se ubicaron las distintas muestras frente al detector a 8cm de distancia, cuidando de que su distribución fuera lo más reproducible que se pudiera. Se rodearon las muestras con ladrillos de plomo para minimizar la radiación de fondo y se procedió a medir.

Los tiempos de las mediciones fueron de entre 15 y 30 horas aproximadamente, tiempos requeridos para obtener un espectro apreciable para los cálculos. Esto se debe al bajo porcentaje relativo de abundancia del isótopo en la muestra, y a su bajo porcentaje de emisiones gamma (10.7%), así como también a la eficiencia del detector utilizado.

Las distintas muestras de la sal estaban dispuestas en recipientes cilíndricos con determinada masa cada uno. La distribución de los recipientes fue lo más simétrica posible, de manera de minimizar diferencias en la geometría.

Debido a la duración de cada medición, se realizaron solo seis mediciones, una de la radiación de fondo y cinco para distintas masas de sal, limitadas a la disponibilidad de tiempo en el laboratorio. De estas, se calcularon las áreas netas de los picos del potasio ^{40}K (Ver apéndice C) (a 1461 KeV); restada la radiación de fondo, hecha con el mismo arreglo experimental pero sin muestra. Las áreas de los picos, para cada masa, divididas por el tiempo de duración de las mediciones respectivas dan las CPS (ec.(6)).

RESULTADOS.

Los valores de cada uno de los parámetros mencionados a lo largo de los párrafos anteriores son, para este experimento:

$$\begin{aligned} p_K &= 0.5243 \\ p_{40k} &= 0.000118 \end{aligned}$$

$$p_\gamma = 0.107$$

$$M_r = 74.555 \text{ g/mol}$$

$$\varepsilon = 0.006 \pm 0.002$$

La figura 3 muestra un espectro típico hallado en una de las mediciones.

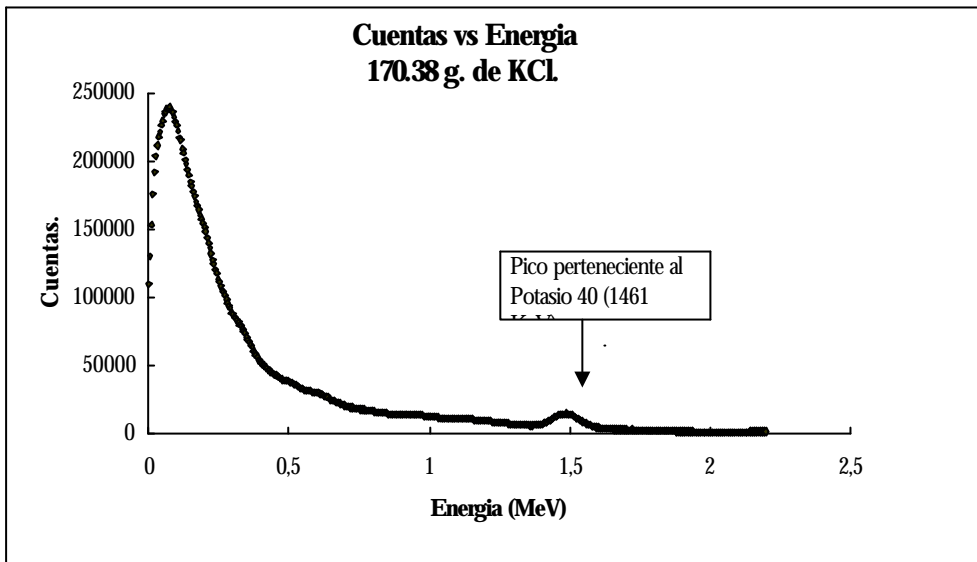


Figura 3: Espectro de energía para 170 gramos de sal.

En esta se puede apreciar el pico correspondiente al potasio 40, alrededor de los 1461 KeV.

En la figura 4 se ven los resultados obtenidos a partir de las cinco mediciones realizadas.

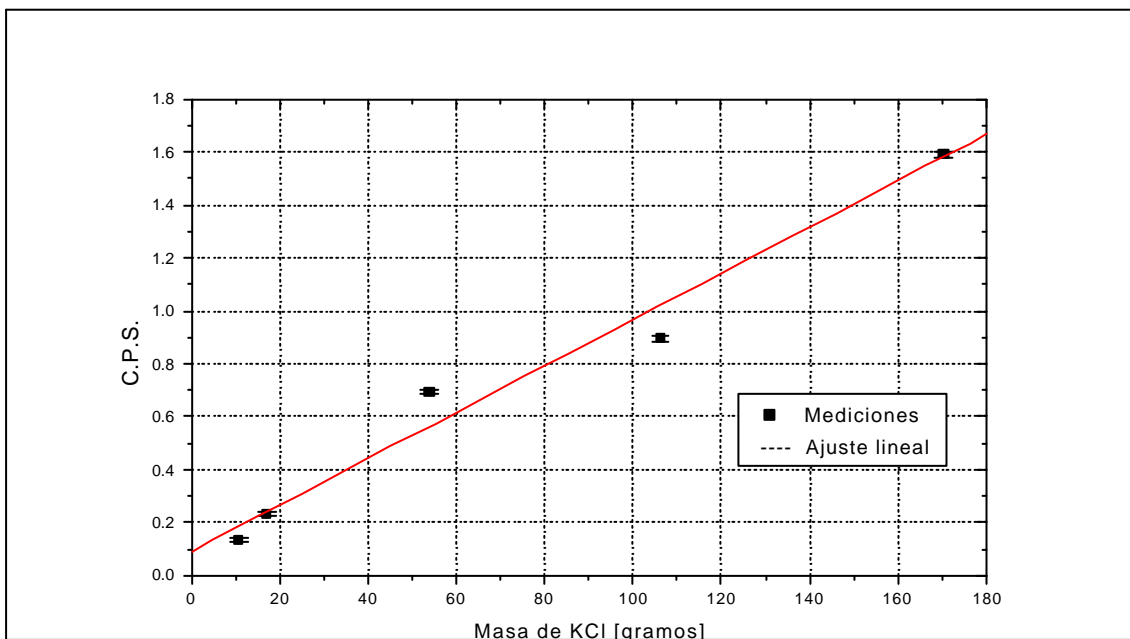


Figura4: C.P.S. vs. Masa y regresión lineal .

De la regresión lineal practicada sobre estos datos se obtuvo un valor de la pendiente de

$$m = (0.0091 \pm 0.0016) \text{ 1/(g.s)}$$

Luego,

$$T_{1/2} = (1.48 \pm 0.44) \cdot 10^9 \text{ Años ;}$$

$$S = (26.9 \pm 8.3) \text{ 1/(g.s);}$$

$$b = (14.1 \pm 4.2) \text{ 1/(g.s), de donde sale la actividad como función de la masa de KCl.}$$

Otra manera de obtener el valor de la vida media sería como sigue. Como se observa de la ecuación (7), las unidades de m son CPS/M. Al graficar CPS/M vs. M debería entonces observarse una recta horizontal correspondiente al valor de m . En la figura 5 se observa el gráfico con los valores obtenidos y el ajuste lineal para ellos.

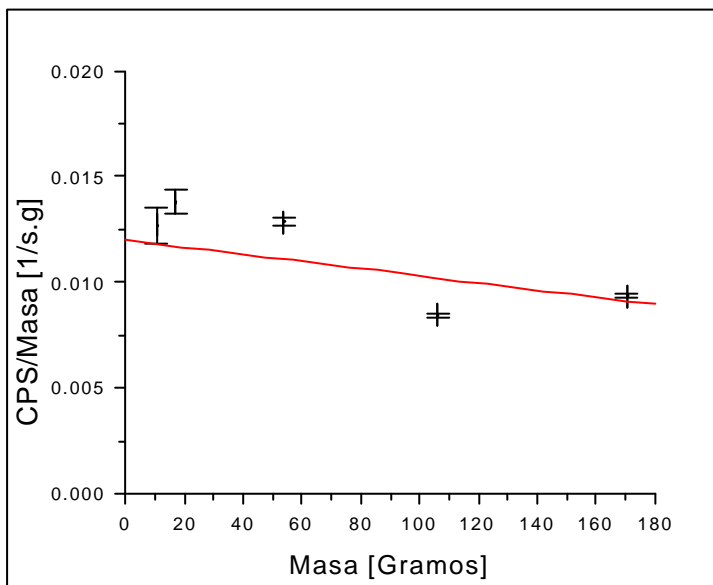


Figura 5: CPS/M vs. M y ajuste lineal.

Se aprecia en el gráfico que el ajuste no es horizontal y presenta una pendiente negativa. Esto se debe a la extensión volumétrica de las muestras. Los detalles son discutidos en las conclusiones. El valor de m que se extrae de este análisis es la ordenada al origen del ajuste lineal, que es el valor de m que correspondería a una muestra de masa cero, la cual podría considerarse puntual y a la cual los efectos de muestras extensas no afectarían.

Así, $m = (0.012 \pm 0.008) \text{ [1/g.s]}$ y $T_{1/2} = (1.12 \pm 0.79) 10^9 \text{ años.}$

CONCLUSIONES.

El valor del tiempo de vida media del potasio 40 hallado mediante uno de los métodos empleados en este experimento es $T_{1/2} = (1.48 \pm 0.44) \cdot 10^9$ años. El valor tabulado ($1.28 \cdot 10^9$ años) está en el rango comprendido por esta medición teniendo en cuenta su incerteza.

Que el valor obtenido sea mayor que el tabulado podría estar indicando un efecto de autoabsorción; las cuentas detectadas son menos, lo que hace que la actividad medida también lo sea, resultando en un tiempo de decaimiento aparente que es mayor que el real.

Otra evidencia de la presencia de este efecto se observa del análisis del gráfico de la figura 5. Lo que debería ser una recta horizontal (en ausencia de la autoabsorción) resulta ser una recta decreciente con el aumento de la masa. Esto indica que el efecto aumenta al aumentar la masa. Usando el valor de m dado por este gráfico se obtuvo $T_{1/2} = (1.12 \pm 0.8) \cdot 10^9$ años. Para evitar este efecto podrían usarse masas menores, pero debería al mismo tiempo mejorarse la aislación respecto de la radiación del fondo, puesto que para masas menores que las utilizadas, los espectros son indistinguibles.

Las distintas masas de sal podrían ser dispuestas siempre en un mismo recipiente cuidando que su ubicación no cambie respecto del detector. Así, la geometría casi no cambiaría para cada medición, solo variaría el volumen de la sal en el recipiente.

Otras opciones para mejorar los resultados serían aumentar el tiempo de las mediciones y hacerlas para más muestras de la sal, cuidando que el rango de masas se encuentre entre valores apropiados para evitar los efectos de autoabsorción para masas grandes y para poder distinguir el espectro de la muestra respecto del espectro del fondo para masas pequeñas.

La fuente de incerteza en los resultados obtenidos proviene de dos contribuciones de diferente origen. Por un lado, la propagación del error al estimar las áreas de los picos de los espectros de cada muestra, que es de naturaleza estadística. Esto da el error en la pendiente m . Por otro lado, existe un error sistemático en la determinación de la distancia detector-muestra, lo cual implica una incerteza en el valor de la eficiencia.

El tiempo muerto del detector no fue tenido en cuenta debido a la baja actividad de las muestras, y al largo tiempo de las mediciones.

En la figura 3 se observa un pico mucho más grande que el correspondiente al potasio 40 en la región de 100 KeV. Este pico corresponde a un efecto de "back scattering". Parte de los rayos gamma, que son emitidos en todas direcciones por la muestra, incide sobre el detector y es la que finalmente compone el pico de 1461 KeV. Del resto, una gran parte interactúa con el blindaje de plomo, dispersándose también en todas direcciones pero con energía notablemente menor que los provenientes del decaimiento del potasio. Una fracción de estos incide sobre el detector y origina el pico antes mencionado en la región de baja energía.

APENDICE A: DETECTOR DE CENTELLEO

El contador usado en el presente trabajo, fue un contador de centelleo de NaI(Tl), un centellador inorgánico de yoduro de sodio dopado con talio alimentado por una fuente de alta tensión. Este consiste en un recinto cilíndrico (sobre cuya base inciden los rayos gamma) que contiene la sal antes mencionada en su interior, acoplado ópticamente a la envoltura de un fototubo, (fotomultiplicador) que permite amplificar la señal y convertirla en una diferencia de potencial, que es posteriormente amplificada y analizada.

A continuación, se describen brevemente cada uno de los componentes de este detector, ya que el conocimiento de los principios de funcionamiento de estos componentes resulta indispensable para la comprensión del experimento.

Centellador.

En este dispositivo, sobre el cual inciden los rayos gamma, se producen un número de fotones ópticos debido a la interacción de los rayos y los átomos de la sal que contiene. El mecanismo para esta producción de fotones es como sigue. Cuando el rayo gamma (de alta energía) es absorbido por el cristal, genera con gran efectividad un gran número de electrones excitados mediante diversos procesos como el efecto Compton, efecto fotoeléctrico, o producción de pares. Estos a su vez excitan la red cristalina, induciendo la emisión de fotones de luz visible que son detectados ópticamente.

Así, la energía del rayo gamma se traduce en un número de fotones ópticos (proporcional a la energía del rayo gamma). Estos fotones inciden sobre el cátodo del fototubo.

El cristal utilizado es en general yoduro de sodio activado con 0.1% de talio aproximadamente. El yoduro de sodio puro emite fotones en la región de 300nm de longitud de onda, con alta eficacia a temperaturas bajas (~77K), pero con baja eficacia para temperatura ambiente. El ion de talio es incorporado para alterar el nivel de energía de la red de modo de emitir la luz con alta eficacia a temperatura ambiente y con una longitud de onda mayor (430nm), que es compatible con muchas de las características del cátodo del fototubo.

Fotomultiplicador.

Fotocátodo.

Los fotones que inciden sobre el fotocátodo, producen la emisión de electrones por efecto fotoeléctrico, en un número proporcional a la eficacia de conversión del cátodo. Esta depende de las características fotoeléctricas y de absorción óptica del cátodo, y de la longitud de onda de los fotones incidentes. Los cátodos utilizados más frecuentemente son compuestos semiconductores de antimonio con cesio, sodio y/o potasio. Los más utilizados son los de cesio-antimonio (Cs_3Sb) y los de cesio-potasio-antimonio (K_2CsSb).

Fototubo.

El fototubo consiste entonces de un número de pequeños electrodos de enfoque llamados dinodos. Cada dinodo, comenzando por el cátodo, opera a voltajes sucesivamente más altos, con el colector, el último de estos (ánodo), al máximo. Los dinodos están contruidos de material que permite la expulsión de electrones por emisión secundaria y puede haber varias de estas etapas (dinodos) en un fototubo.

Los electrones que dejan el fotocátodo son acelerados al primer dinodo, incidiendo sobre este y arrancando de él electrones por emisión secundaria. El material de los dinodos y las condiciones del circuito son seleccionados de modo que son más los electrones que dejan la placa que los que inciden sobre ella. Así, los electrones que salen de la segunda placa, son dirigidos hacia la tercera y así sucesivamente hasta el ánodo, produciendo en el ánodo la llegada de una cascada de electrones. El ánodo suele ir conectado a una resistencia de carga externa al tubo y al fluir a través de ella los electrones, produce un pulso de voltaje negativo que es amplificado y analizado luego por la computadora. Para que la ganancia sea constante es necesario alimentar al fototubo con una fuente de alta tensión.

Por ejemplo, para un tubo dado, de diez dinodos con un coeficiente de 4 electrones secundarios por electrón primario de energía de 100eV, se tiene una ganancia de 4^{10} , número algo mayor que 10^6 . Por cada electrón primario producido por la absorción de un fotón óptico se produce entonces en el ánodo un pulso de carga conteniendo 1000000 de electrones y de magnitud $1.6 \cdot 10^{-13}$ C.

Para dos electrones primarios se tendrán dos millones de electrones en el ánodo, y así sucesivamente. El fotomultiplicador es un amplificador lineal.

El coeficiente de emisión secundaria de la superficie de los dinodos es levemente dependiente de la temperatura y en la mayoría de los fotomultiplicadores la ganancia decrece en alrededor de 0.5% por cada aumento de un grado centígrado. Entonces, es necesario mantener la temperatura de todo el sistema constante o proveerlo de un circuito que haga pequeños ajustes al voltaje al que opera el tubo para mantener la ganancia constante.

APENDICE B: RADIATIVIDAD NATURAL.

Adiciones a la Atmósfera.

El escape de compuestos volátiles ocluidos en el interior de la tierra es el mecanismo primario del origen y crecimiento de la atmósfera. Este escape no puede haber ocurrido hasta que las rocas en las cuales los gases estaban sellados originalmente fueron llevadas a su temperatura de fusión y movidas a regiones de baja presión o cerca de la superficie de la tierra. Esta fusión puede haber ocurrido durante o luego de la formación de la tierra, como resultado de la conversión de la energía gravitacional en calor, o más tarde aun en respuesta la liberación de energía durante el decaimiento de núcleos de potasio 40.

La radiactividad es todavía una pequeña fuente de adición a la atmósfera. Esta es la responsable de la producción del helio como producto del decaimiento del uranio y del torio a plomo y de la producción del argón del decaimiento del ^{40}K a ^{40}Ar (y a ^{40}Ca). Esto es suficiente para justificar la presencia de la mayoría del 0.9% del argón y del 0.0005% del helio de la atmósfera y el hecho de que estos son relativamente mas abundantes que el resto de los gases nobles, de origen cósmico.

El helio presente en la tierra no es de origen primordial y es generado por el decaimiento radiactivo. De hecho, las partículas alfa son núcleos de helio. A diferencia del argón, el helio no se acumula en la atmósfera en grandes cantidades porque la gravedad de la tierra no es suficiente para prevenir su escape gradual al espacio. Los rastros de helio 3 hallados en la tierra son atribuidos al decaimiento β^- del tritio. El helio que se obtiene comercialmente y del que se dispone en los laboratorios proviene de la aislacion del gas por medio de la licuacion del aire a bajas temperaturas y altas presiones. Por este método se obtiene 98.2% de helio. Helio puro (99.995%) se obtiene de una purificación final de las impurezas restantes (nitrógeno la mayor parte), adsorbidas en carbón activado enfriado.

Flujo de Calor en la Tierra.

Aproximadamente el 80% del flujo del calor en la tierra se debe al decaimiento radiactivo, mientras que el 20% restante proviene del calor original de la tierra. Las sustancias radiactivas naturales con vida media grande que se encuentran suficientemente concentradas para producir una significativa cantidad de calor son U 235, U 238, Th 232, y K 40. Los tres elementos son hallados en cantidades mensurables en todas las rocas. El calor se propaga tanto por conducción como por convección. Debido a que se cristalizan a temperaturas menores que los compuestos de hierro, silicio o magnesio, los compuestos radiactivos fundidos fluyen en dirección a la superficie, mientras que los materiales mas densos son empujados hacia el centro bajo la influencia de la gravedad. Así, el calor producido por la radiactividad es transportado por conducción. Si el material radiactivo se encuentra encerrado, el calor fluye a través del material que lo rodea por convección.

APENDICE C: PROGRAMA PARA EL CALCULO DE AREAS NETAS.

```
unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, ExtCtrls, TeeProcs, TeEngine, Chart, Series, ComCtrls;

type
  TSelectROI = (MargenIzq, MargenDer, None);
  TForm1 = class(TForm)
    StatusBar1: TStatusBar;
    Panel1: TPanel;
    GroupBox1: TGroupBox;
    Memo1: TMemo;
    Panel2: TPanel;
    GroupBox2: TGroupBox;
    GraficarSerie: TBitBtn;
    BorrarLastSerie: TBitBtn;
    CalcularBitBtn: TBitBtn;
    Panel3: TPanel;
    Chart1: TChart;
    Series1: TPointSeries;
    Series2: TLineSeries;
    Series4: TLineSeries;
    BitBtn4: TBitBtn;
    BitBtn3: TBitBtn;
    BitBtn5: TBitBtn;
    BitBtn6: TBitBtn;
    Memo2: TMemo;
    BorrarDatos: TBitBtn;
    SpeedButton1: TSpeedButton;
    SpeedButton2: TSpeedButton;
    procedure GraficarSerieClick(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure FormDestroy(Sender: TObject);
    procedure BorrarLastSerieClick(Sender: TObject);
    procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn5Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
    procedure FormKeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;
      Shift: TShiftState);
    procedure BitBtn6Click(Sender: TObject);
    procedure CalcularBitBtnClick(Sender: TObject);
    procedure BorrarDatosClick(Sender: TObject);
    procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);
    procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
    PCALine: TStringList;
    SelectingROI: TSelectROI;
    CursorR: TLineSeries;
    CursorL: TLineSeries;
    RRX: Integer;
    LLX: Integer;
    function ParsePCALine(Line: string; var a, b, c: Double): Boolean;
    function Replace(Line: string; replace, by: Char): string;
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form1      : TForm1;
```

implementation

```
{SR *.DFM}
//uses EditChar;
uses Math;

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  RRX := 0;
  LLX := 0;
  CursorR := TLineSeries.Create(Chart1);
  CursorR.Assign(TLineSeries(Chart1.Series[1]));
  CursorL := TLineSeries.Create(Chart1);
  CursorL.Assign(TLineSeries(Chart1.Series[2]));
  SelectingROI := None;
  PCALine := TStringList.Create;
  CursorR.ParentChart := Chart1;
  CursorL.ParentChart := Chart1;
end;

procedure TForm1.FormDestroy(Sender: TObject);
begin
  PCALine.Free;
end;

procedure TForm1.GraficarSerieClick(Sender: TObject);
var
  Serie      : TPointSeries;
  k          : Integer;
  a, b, c    : Double;
begin
  Serie := {TPointSeries(Chart1.Series[0]); // } TPointSeries.Create(Chart1);
  Serie.Assign(TPointSeries(Chart1.Series[0]));
  Serie.ShowInLegend := True;
  try
    for k := 0 to Memo1.Lines.Count - 1 do
      begin
        ParsePCALine(Memo1.Lines[k], a, b, c);
        {c es ROI (lo ignoro)}
        Serie.AddXY(a, b, ', ', Random($FFFFFF));
      end;
    Serie.ParentChart := Chart1;
  finally
    //Serie.Free;
  end;
end;

function TForm1.Replace(Line: string; replace, by: Char): string;
var
  k      : Integer;
begin
  for k := 0 to Length(Line) do
    if Line[k] = replace then Line[k] := by;
  result := Line;
end;

function TForm1.ParsePCALine(Line: string; var a, b, c: Double): Boolean;
begin
  Result := False;
  PCALine.Clear;
  {Reemplaza todas las apariciones de TAB por coma}
  Line := Replace(Line, #9, ',');
  PCALine.CommaText := Line;
```

```

if PCALine.Count < 2 then Exit;
{Parsear los valores}
try
  a := StrToFloat(PCALine[0]);
except
  a := 0;
end;
try
  b := StrToFloat(PCALine[1]);
except
  b := 0;
end;
try
  c := StrToFloat(PCALine[2]);
except
  c := 0;
end;
end;

```

```

procedure TForm1.BorrarLastSerieClick(Sender: TObject);
begin
  with Chart1.SeriesList do
    if Count > 4 then
      Delete(Count - 1);
  Chart1.Repaint;
end;

```

```

procedure TForm1.BitBtn3Click(Sender: TObject);
var
  Serie      : TPointSeries;
  VLX, VLY   : TChartValueList;
begin
  try
    if Chart1.SeriesList[5] = nil then Exit;
  except
    Exit;
  end;
  Serie := TPointSeries(Chart1.SeriesList[5]);
  VLX := Serie.XValues;
  VLY := Serie.YValues;

  CursorL.Clear;
  Inc(LLX);
  if LLX >= VLX.Count then LLX := VLX.Count - 1;
  CursorL.AddXY(VLX.Value[LLX], Chart1.LeftAxis.Minimum, '', $FF0000);
  CursorL.AddXY(VLX.Value[LLX], Chart1.LeftAxis.Maximum, '', $FF0000);
  Chart1.Repaint;
end;

```

```

procedure TForm1.BitBtn4Click(Sender: TObject);
var
  Serie      : TPointSeries;
  VLX, VLY   : TChartValueList;
begin
  try
    if Chart1.SeriesList[5] = nil then Exit;
  except
    Exit;
  end;
  Serie := TPointSeries(Chart1.SeriesList[5]);
  VLX := Serie.XValues;
  VLY := Serie.YValues;

```

```

CursorL.Clear;
Dec(LLX);
if LLX < 0 then LLX := 0;
CursorL.AddXY(VLX.Value[LLX], Chart1.LeftAxis.Minimum, '', $FF0000);
CursorL.AddXY(VLX.Value[LLX], Chart1.LeftAxis.Maximum, '', $FF0000);
Chart1.Repaint;
end;

```

```

procedure TForm1.BitBtn5Click(Sender: TObject);

```

```

var
  Serie      : TPointSeries;
  VLX, VLY   : TChartValueList;
begin
  try
    if Chart1.SeriesList[5] = nil then Exit;
  except
    Exit;
  end;
  Serie := TPointSeries(Chart1.SeriesList[5]);
  VLX := Serie.XValues;
  VLY := Serie.YValues;

```

```

CursorR.Clear;
Dec(RRX);
if RRX < 0 then RRX := 0;
CursorR.AddXY(VLX.Value[RRX], Chart1.LeftAxis.Minimum, '', $FF0000);
CursorR.AddXY(VLX.Value[RRX], Chart1.LeftAxis.Maximum, '', $FF0000);
Chart1.Repaint;
end;

```

```

procedure TForm1.BitBtn6Click(Sender: TObject);

```

```

var
  Serie      : TPointSeries;
  VLX, VLY   : TChartValueList;
begin
  try
    if Chart1.SeriesList[5] = nil then Exit;
  except
    Exit;
  end;
  Serie := TPointSeries(Chart1.SeriesList[5]);
  VLX := Serie.XValues;
  VLY := Serie.YValues;

```

```

CursorR.Clear;
Inc(RRX);
if RRX >= VLX.Count then RRX := VLX.Count - 1;
CursorR.AddXY(VLX.Value[RRX], Chart1.LeftAxis.Minimum, '', $FF0000);
CursorR.AddXY(VLX.Value[RRX], Chart1.LeftAxis.Maximum, '', $FF0000);
Chart1.Repaint;
end;

```

```

procedure TForm1.FormKeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;

```

```

  Shift: TShiftState);
begin
  if Key = Ord('S') then
    BitBtn3Click(Self);
  if Key = Ord('A') then
    BitBtn4Click(Self);
  if Key = Ord('K') then
    BitBtn5Click(Self);
  if Key = Ord('L') then

```

```

    BitBtn6Click(Self);
end;

```

```

// ~~~~~~Calculo de areas ~~~~~~

```

```

procedure TForm1.CalcularBitBtnClick(Sender: TObject);
var
    k      : Integer;
    Serie  : TPointSeries;
    VLX, VLY : TChartValueList;
    IdxXFrom, IdxXTO : Integer;
    AreaTot : Double;
    AreaNeta : Double;
    XIPP    : Double;
    XI      : Double;
    CIPP    : Double;
    CI      : Double;
    Base    : Double;
    AlturaRect : Double;
    AlturaTriang : Double;
    AreaFondo : Double;
    AreaTriang, AreaRect: Double;
    YLProm, YHProm : Double;
begin
    try
        if Chart1.SeriesList[5] = nil then Exit;
    except
        Exit;
    end;
    Serie := TPointSeries(Chart1.SeriesList[5]);
    VLX := Serie.XValues;
    VLY := Serie.YValues;

    {Ir del menor a mayor}
    IdxXFrom := MinIntValue([RRX, LLX]);
    IdxXTO := MaxIntValue([RRX, LLX]);

    AreaTot := 0;
    for k := IdxXFrom to IdxXTO - 1 do
        begin
            XIPP := VLX.Value[k + 1];
            XI := VLX.Value[k];
            CIPP := VLY.Value[k + 1];
            CI := VLY.Value[k];
            AreaTot := AreaTot + (XIPP - XI) * CI + (CIPP - CI) * (XIPP - XI) / 2;
        end;
    Memo2.Lines.Add('Area total:');
    Memo2.Lines.Add(Format('%g' + #177 + ' %g', [AreaTot, Sqrt(AreaTot)]));

    Base := VLX.Value[IdxXTO] - VLX.Value[IdxXFrom];
    {Promediar}
    YLProm := (VLY.Value[IdxXFrom-1] + VLY.Value[IdxXFrom] + VLY.Value[IdxXFrom+1])/3;
    YHProm := (VLY.Value[IdxXTO-1] + VLY.Value[IdxXTO] + VLY.Value[IdxXTO+1])/3;

    AreaFondo := (1/2)*(YLProm+YHProm)*(Base);
    AreaNeta := AreaTot - AreaFondo;
    Memo2.Lines.Add('Area neta:');
    Memo2.Lines.Add(Format('%g' + #177 + ' %g', [AreaNeta, Sqrt(AreaNeta + 2 * AreaFondo)]));

    Memo2.Lines.Add('Canales:');
    Memo2.Lines.Add(Format('Del: %g al %g = %g', [VLX.Value[IdxXFrom], VLX.Value[IdxXTO], Base]));
end;

```

```

(*procedure TForm1.CalcularBitBtnClick(Sender: TObject);
var
  k      : Integer;
  Serie  : TPointSeries;
  VLX, VLY : TChartValueList;
  IdxXFrom, IdxXTO : Integer;
  AreaTot : Double;
  AreaNeta : Double;
  XIPP : Double;
  XI : Double;
  CIPP : Double;
  CI : Double;
  Base : Double;
  AlturaRect : Double;
  AlturaTriang : Double;
  AreaFondo : Double;
  AreaTriang, AreaRect: Double;
  YLProm, YHProm : Double;
begin
  try
    if Chart1.SeriesList[5] = nil then Exit;
  except
    Exit;
  end;
  Serie := TPointSeries(Chart1.SeriesList[5]);
  VLX := Serie.XValues;
  VLY := Serie.YValues;

  {Ir del menor a mayor}
  IdxXFrom := MinIntValue([RRX, LLX]);
  IdxXTo := MaxIntValue([RRX, LLX]);

  AreaTot := 0;
  for k := IdxXFrom to IdxXTo - 1 do
  begin
    XIPP := VLX.Value[k + 1];
    XI := VLX.Value[k];
    CIPP := VLY.Value[k + 1];
    CI := VLY.Value[k];
    AreaTot := AreaTot + (XIPP - XI) * CI + (CIPP - CI) * (XIPP - XI) / 2;
  end;
  Memo2.Lines.Add('Area total:');
  Memo2.Lines.Add(Format('%g' + #177 + ' %g', [AreaTot, Sqrt(AreaTot)]));

  Base := VLX.Value[IdxXTo] - VLX.Value[IdxXFrom];
  AlturaRect := VLY.Value[IdxXTO];
  AlturaTriang := VLY.Value[IdxXFrom] - VLY.Value[IdxXTO];
  if Base < 0 then Base := -Base;
  if AlturaRect < 0 then AlturaRect := -AlturaRect;
  if AlturaTriang < 0 then AlturaTriang := -AlturaTriang;

  AreaTriang := Base * (AlturaTriang / 2);
  AreaRect := Base * AlturaRect;
  AreaFondo := Base * (AlturaRect + AlturaTriang / 2);
  AreaNeta := AreaTot - AreaFondo;
  Memo2.Lines.Add('Area neta:');
  Memo2.Lines.Add(Format('%g' + #177 + ' %g', [AreaNeta, Sqrt(AreaNeta + 2 * AreaFondo)]));

  Memo2.Lines.Add('Canales:');
  Memo2.Lines.Add(Format('Del: %g al %g = %g', [VLX.Value[IdxXFrom], VLX.Value[IdxXTO],
  Base]));
end;*)

```



```

procedure TForm1.BorrarDatosClick(Sender: TObject);
begin
  Memo1.Lines.Clear;
end;

procedure TForm1.SpeedButton2Click(Sender: TObject);
var
  NuevosDatos : TStringList;
  a, b, c     : Double;
  k           : Integer;
begin
  NuevosDatos := TStringList.Create;
  try
    for k := 0 to Memo1.Lines.Count - 1 do
      begin
        ParsePCALine(Memo1.Lines[k], a, b, c);
        a := a + 1;
        NuevosDatos.Add(Format('%g' + #9 + '%g' + #9 + '%g', [a, b, c]));
      end;
      BorrarDatosClick(Self);
      Memo1.Lines.Assign(NuevosDatos);
      BorrarLastSerieClick(Self);
      GraficarSerieClick(Self);
    finally
      NuevosDatos.Free;
    end;
end;

procedure TForm1.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
var
  NuevosDatos : TStringList;
  a, b, c     : Double;
  k           : Integer;
begin
  NuevosDatos := TStringList.Create;
  try
    for k := 0 to Memo1.Lines.Count - 1 do
      begin
        ParsePCALine(Memo1.Lines[k], a, b, c);
        a := a - 1;
        NuevosDatos.Add(Format('%g' + #9 + '%g' + #9 + '%g', [a, b, c]));
      end;
      BorrarDatosClick(Self);
      Memo1.Lines.Assign(NuevosDatos);
      BorrarLastSerieClick(Self);
      GraficarSerieClick(Self);
    finally
      NuevosDatos.Free;
    end;
end;
end.

```

BIBLIOGRAFIA

- [1] - "*Radiactividad y su Medida*", W.B. Mann y S.B. Garfinkel. Van Nostrand Books, 1968.
- [2] - "*Radiation Detection & Measurements*", G.F. Knoll. John Wiley & Sons.
- [3] - "*Vida Media del ^{40}K* ", S. Gil, Cátedra de Laboratorio 5.
- [4] - "*A Laboratory Experiment for Determining the Partial Half-Life of ^{40}K for Beta Emission*", K. Gopal et al. Am. J. Phys. 40 (1972) Pag.721.
- [5] - "*Table of Radioisotopes*", Lederer, Hollander & Pearlman. John Wiley & Sons.
- [6] - *Encyclopaedia Britannica*, 15th edition, 1984.