

# DETERMINACIÓN DE K-40 EN ALIMENTOS POR ESPECTROMETRÍA GAMMA CON UN DETECTOR DE NaI(Tl) Y SIMULACIONES MONTE CARLO.

## DETERMINATION OF K-40 IN FOODS BY GAMMA SPECTROMETRY WITH A NaI(Tl) DETECTOR AND MONTE CARLO SIMULATIONS.

E.R. González\*, E.V. Bonzi

Facultad de Matemática, Astronomía y Física – Universidad Nacional de Córdoba – Medina Allende esquina Haya de la Torre-Ciudad Universitaria - (5000) - Córdoba – Argentina  
*e-mail:* engonzal@famaf.unc.edu.ar

Recibido 30/03/2012; aprobado 11/10/2012

El potasio 40 es la principal fuente de radiación en seres humanos debido a la ingesta de alimentos. El potasio 40 es un elemento radiactivo que se encuentra con abundancia relativamente alta en el suelo y a partir de allí, se transmite a las plantas y alimentos. Su vida media es de  $1.27 \times 10^9$  años y por este motivo, persiste en forma natural hasta nuestros días desde la formación de la galaxia. El potasio radiactivo  $^{40}\text{K}$  representa el 0.012 % de todo el potasio existente en la naturaleza y se desintegra por emisión  $\beta^-$  (89.33 %) por captura electrónica (10.67%) y emitiendo un fotón gamma de 1460.8 keV. En este trabajo, se propone utilizar un detector de NaI(Tl) con el fin de determinar la concentración de  $^{40}\text{K}$  en alimentos de consumo masivo. Para este propósito, el espectro gamma del  $^{40}\text{K}$  se determina utilizando un detector de NaI(Tl), por otro lado el espectro de emisión del potasio es simulado para cada alimento y finalmente la actividad se obtiene ajustando el espectro simulado con el espectro medido.

Palabras Claves: Potasio 40, alimentos, detector de NaI(Tl), Simulación Monte Carlo

Potassium 40 is the main source of radiation in humans due to food intake. It is a radioactive element in a relatively high abundance in soils, and is transmitted from there to plants and foods. Its half-life is  $1.27 \times 10^9$  years and for this reason naturally persists to this day since the formation of the galaxy.  $^{40}\text{K}$  radioactive potassium represents 0.012% of all naturally occurring potassium and decays by  $\beta^-$  emission (89.33%) and electron capture (10.67%), and emitting a gamma photon of 1460.8 keV. In this paper, we propose to use a NaI(Tl) detector for the purpose of determining the concentration of  $^{40}\text{K}$  in massive consumption foods. For this purpose, the gamma spectrum of  $^{40}\text{K}$  from each food is determined using a NaI(Tl) detector, on the other hand the emission spectrum of potassium is simulated for each food and finally the activity is obtained by fitting the simulated spectrum to the measured spectrum.

Key Words: Potassium 40, foods, NaI(Tl) detector, Monte Carlo simulation

### 1) INTRODUCCIÓN

En este trabajo hemos determinado la concentración de  $^{40}\text{K}$  en alimentos secos mediante un detector de NaI(Tl) y simulaciones Monte Carlo implementadas con el código PENELOPE. El  $^{40}\text{K}$  es un isótopo radiactivo que decae en el elemento estable  $^{40}\text{Ca}$  mediante la emisión de una partícula beta en el 89.33% de los casos y por captura electrónica el 10.66 % de las veces. También emite un fotón gamma de 1460.8 keV de energía el 10.66 % de los casos. Se encuentra de manera abundante principalmente en el suelo y en los fertilizantes transmitiéndose desde allí a las plantas y animales. La penetración en el cuerpo humano es principalmente a través de la ingesta de alimentos o a través de la respiración de nubes de polvo o aerosoles disueltos en el aire. Se estima que el  $^{40}\text{K}$  es la segunda causa de irradiación natural recibida por el ser humano después del radón y la primera debida a la alimentación, la dosis recibida por causa de este elemento es de aproximadamente 0.2 mSv/a. Normalmente, se sabe que

algunos alimentos como bananas, kiwis, coliflor, repollo, etc. son ricos en potasio (por ende en  $^{40}\text{K}$ ) pero en esta experiencia hemos observado concentraciones importantes en otros alimentos también. Una de las razones por las que es necesario conocer el nivel de potasio radiactivo es que a algunos países que son exportadores de productos alimenticios básicos como plátanos o leche en polvo por ejemplo, se les exige niveles máximos permitidos para estos alimentos cada vez menores siendo en algunos casos tan bajos como 5 Bq/kg. Recientemente, se han detectado niveles elevados de  $^{40}\text{K}$  en el suelo de lugares en los cuales se libraron guerras como es el caso de Serbia, Kósovo, Afganistán, Iraq etc. donde se atribuye la presencia del elemento debida al uso de armas nucleares<sup>[1]</sup>. En estos lugares, también se notó un incremento en los casos de cáncer con tumores múltiples. Alrededor del 98% del potasio 40 presente en el cuerpo humano se encuentra en los fluidos intracelulares es decir en el interior de las células donde las partículas producto de las desintegraciones nucleares son capaces de alterar y dañar el ADN de dichas células. El  $^{40}\text{K}$  se deposita

\*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia

fundamentalmente en el suelo y también puede adherirse a los aerosoles atmosféricos y penetrar en el cuerpo humano por medio de la respiración.

## II. MÉTODO EXPERIMENTAL Y SIMULACIÓN

Las muestras de cada alimento fueron envasadas en recipientes de acrílico de forma cilíndrica de 330 cm<sup>3</sup> y fueron ubicadas dentro de un bunker de plomo con paredes de 10 cm de espesor frente al detector. Luego se grabó el espectro durante un tiempo de 18 horas. Simultáneamente, se simuló para cada muestra medida la línea de emisión del radioisótopo en estudio, considerando el dispositivo experimental y respetando lo más fielmente posible las dimensiones, forma y disposición de los cuerpos circundantes, blindaje, envases, detector<sup>[2]</sup> etc. El espectro simulado fue convolucionado con la función gaussiana que representa la resolución del sistema de detección y sumado al fondo sin la muestra. El espectro es obtenido a menos de una constante la cual se determina ajustándolo al espectro medido. De este modo, se determina la actividad tomando en cuenta el área neta del fotopico siguiendo el mismo método indicado en la referencia [2]. Para la experiencia hemos utilizado una cadena de espectrometría gamma compuesta por un detector de NaI(Tl) marca AE&G Ortec de 3''x3'', un preamplificador Tenelec AC 145, un amplificador de señal AE&G Ortec 572 y una fuente de alto voltaje. Las simulaciones fueron realizadas tomando un tiempo de entre 24 y 48 horas utilizando en un computador de escritorio.

Hemos supuesto que en el rango de energías involucrado (0.2 a 3MeV), el coeficiente másico de atenuación es independiente del elemento o mezcla de elementos que constituyen la muestra (ver Fig.1). Para una sustancia molecular o para una mezcla de sustancias cualquiera los efectos de la ligadura química pueden ser despreciados y podemos escribir el coeficiente de atenuación como<sup>[3,4]</sup>:

$$\frac{\mu(E)}{\rho} = \sum_{i=1}^N \epsilon_i \cdot \left( \frac{\mu(E)}{\rho} \right)_i \quad (1)$$

donde E es la energía del fotón y  $\epsilon_i$  es la fracción por peso del i-ésimo elemento en la molécula o mezcla. En el rango de energías 0.2 a 3.0 MeV y para números atómicos Z comprendido entre 1 y 20 aproximadamente y aún mas, los coeficientes másicos de atenuación son muy similares como puede verse en la Fig. 1 obtenida interpolando valores de tablas<sup>[5]</sup> con lo cual, podemos sacar fuera de la sumatoria el coeficiente para un determinado elemento siendo el valor de la sumatoria restante igual a uno. Dicho de otro modo, si variamos la concentración de los distintos elementos que componen la muestra el coeficiente másico de atenuación resultante será el mismo. Por el contrario, si variamos la densidad de la muestra obtendremos fuertes variaciones en la forma y proporciones del espectro tal como se muestra en la Fig. 2. Por las razones antedichas hemos tomado la composición química igual para todas las muestras como una combinación de átomos de Ca, O, y C y se simuló teniendo especial cuidado en su densidad.

A los efectos de corroborar estas suposiciones y estudiar la influencia de este hecho, hemos simulado una muestra de igual forma y tamaño que las medidas, compuesta de un determinado material pero con distintas densidades y emitiendo isotrópicamente en todas las direcciones fotones de 1460.8 keV de energía. La Fig. 2 exhibe el resultado para una muestra pura de Zn.

Por otra parte, hemos simulado muestras con distinta composición química e igual densidad los resultados se muestran en la Fig. 3 como puede observarse allí, la influencia de la ligadura atómica solo comienza a ser apreciable por debajo de los 100 keV .

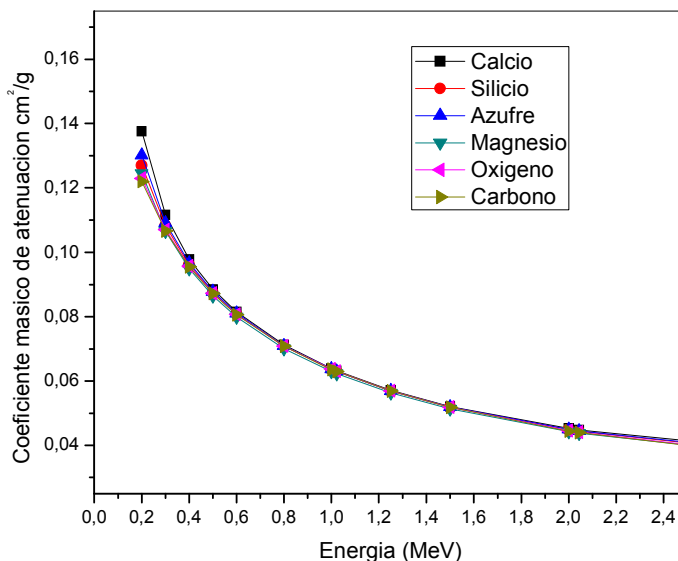
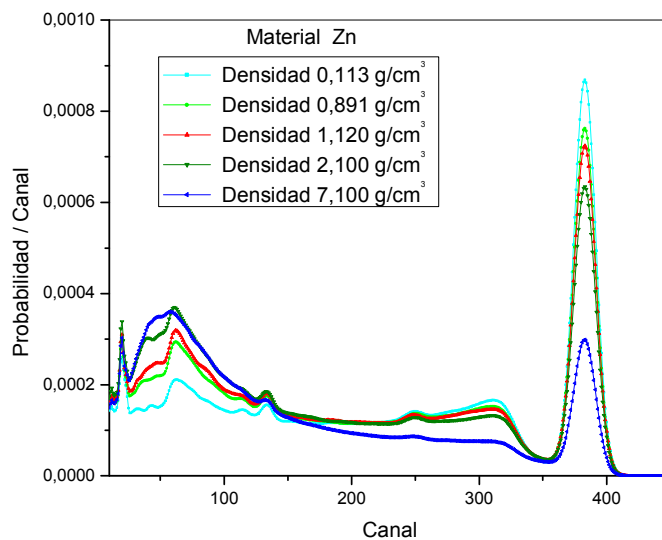
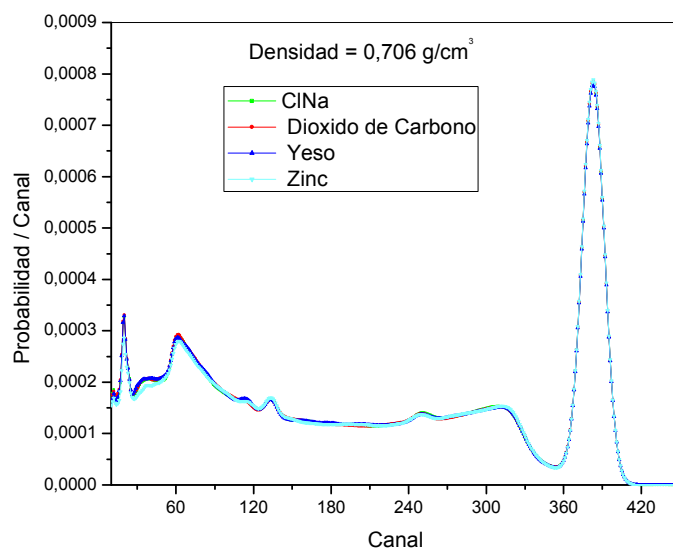


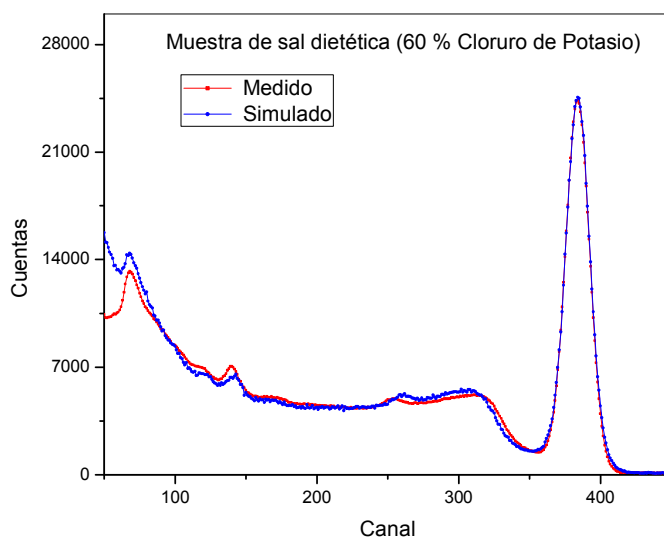
Fig.1 Comparación entre los coeficientes másicos de atenuación para distintos materiales puros de distinto Z.



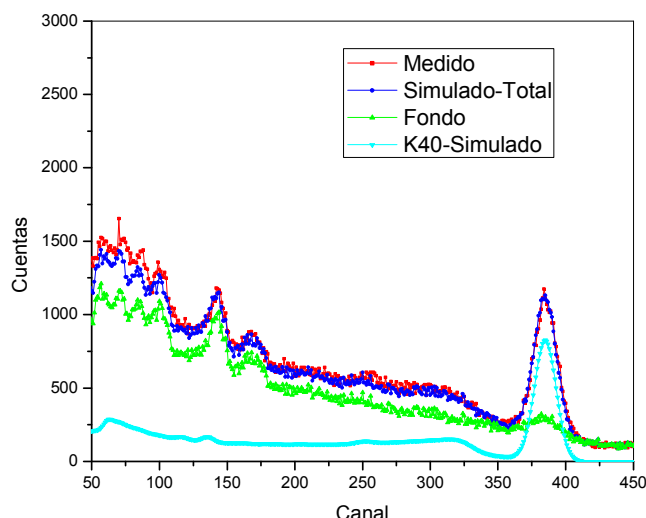
**Fig.2** Comparación de los espectros simulados para una muestra de un mismo material (Zn) y densidades distintas.



**Fig. 2** Comparación de espectros simulados para cuatro materiales distintos a una misma densidad.



**Fig. 3** Espectro simulado y medido de una muestra de sal dietética conteniendo cloruro de potasio.



**Fig.4** Espectro medido y simulado (línea 1460.8 keV  $^{40}\text{K}$ ) de una muestra de pimentón. Se muestra también el espectro de fondo sin la muestra y el espectro simulado total obtenido como la suma de estos dos últimos.

### III) RESULTADOS

La Tabla 1 contiene los valores obtenidos para la concentración de  $^{40}\text{K}$  en los alimentos medidos. Como puede observarse, en algunos casos el valor es inferior al mínimo de detección.

**Tabla 1.** Valores obtenidos para la concentración de  $^{40}\text{K}$  en alimentos secos.

Muestra	concentración (Bq/kg)	densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Garbanzos	364 ± 62	0.778
Arvejas	278 ± 60	0.753
Pimentón	618 ± 79	0.706
Lentejas	327 ± 57	0.891
Banana natural	116 ± 36	1.051
Orégano	827 ± 283	0.113
Harina de arvejas	278 ± 59	0.780
Sal dietética (Cl K)	11090 ± 243	1.32
Yerba mate	307 ± 96	0.34
Sal común	< 1	1.319
Bananas desecadas	155 ± 60	0.482
Harina de trigo	64 ± 40	0.812
Soja	577 ± 69	0.775
Porotos negros	504 ± 63	0.807
Arroz	25 ± 20	0.875
Azúcar	< 1	-----
Café	447 ± 81	0.575
Avena	112 ± 73	0.415
Papa desecada	406 ± 72	0.382

### IV) CONCLUSIONES

De los resultados anteriores podemos concluir que en condiciones normales el  $^{40}\text{K}$  es el isótopo radiactivo emisor gamma más abundante en alimentos. Al mismo tiempo, podemos inferir que los detectores

de NaI (Tl) son eficientes a la hora de medir contenido de  $^{40}\text{K}$  en alimentos de consumo masivo. Su bajo costo de mantenimiento y durabilidad, los hace accesibles a cualquier laboratorio de radiaciones no necesariamente especializado en la medición de radiaciones ambientales, lo cual es importante a la hora de satisfacer la creciente demanda e interés por conocer los posibles niveles de contaminación radiactiva en alimentos y fertilizantes provenientes sobre todo de zonas donde se sospecha que están contaminadas radiactivamente por el uso de armamentos nucleares o accidentes.

### V) REFERENCIAS

- [1] Measurements of Radioactivity in Soil Samples from Serbia - Current Concerns No 6, 2008 - Andreas Bau and Hans Köntzner.
- [2] Cálculo del Espectro Radiactivo de Muestras Ambientales Mediante el Código Monte Carlo PENELOPE – González E. R., Bonzi, E. V. – ANALES AFA VOL. 22.
- [3] Anderson, David W., Absorption of Ionizing Radiation, (University Park Press) -1984
- [4] F. Salvat, Fernandez Varea J., Sempau J., PENELOPE – A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport – N.E.A.
- [5] Berger, M. J. Hubbell, J.H, 1987/1999, XCOM: Photon Cross Sections Database, Web Version 1.2, available at <http://physics.nist.gov/xcom> National Institute of Standards and Technology – U.S.A.