

ISSN 2075-5635  
on line

# nucleus

No. 54, 2013

**Publicación semestral**

Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada de Cuba  
Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

**En este número:**

**Inventario de referencia  
de  $^{137}\text{Cs}$  para estudios de  
erosión de los suelos en  
la provincia de Cienfuegos,  
Cuba**



[www.cubaenergia.cu/nucleus/nucleus.htm](http://www.cubaenergia.cu/nucleus/nucleus.htm)

## Ciencias Nucleares

Inventario de referencia de $^{137}\text{Cs}$ para estudios de erosión de los suelos en la provincia de Cienfuegos, Cuba.....	1
Rita Y. Sibello Hernández, José Manuel Febles González, Alicia L. Toledo Sibello, Roberto Suárez Surí	
Bioacumulación de zinc en cultivos y su contribución a la ingestión de Zn por la población cubana.....	8
Oscar Díaz Rizo, Susana Olivares Reumont, Otoniel Denis Alpízar, Lázaro Lima Cazorla, Katia D'Alessandro Rodríguez, Juana O. Arado López	
Medición de la sección eficaz de fotoefecto y de la energía del borde de absorción K de los átomos Dy, Ta, Pt y Au utilizando radiación de frenado.....	12
Juan Alejandro García Álvarez, Neivy López Pino, Oscar Díaz Rizo, Yasser Corrales, Fátima Padilla Cabal, Maily Pérez Liva, Katia D'Alessandro, Nora L. Maidana	
Niveles de radionúclidos naturales y metales pesados en suelos urbanos de la ciudad de Cienfuegos, Cuba.....	17
Oscar Díaz Rizo, Eduardo Quintana Miranda, Carlos M. Alonso Hernández, Héctor Cartas Águila, Katia D'Alessandro Rodríguez, Neivy López Pino, Juana O. Arado López	

## Innovación Tecnológica

Automatización de la calibración de dosímetros de radioterapia.....	23
Andy L. Romero Acosta, Stefan Gutiérrez Lores	
Revistas certificadas como publicaciones seriadas científico-tecnológicas .....	29
Instrucciones a los autores .....	31

## Nuclear sciences

- <sup>137</sup>Cs reference inventory for the soils erosion studies in Cienfuegos, Cuba ..... 1  
Rita Y. Sibello Hernández, José Manuel Febles González, Alicia L. Toledo Sibello, Roberto Suárez Surí
- Bioaccumulation of zinc in crops and its contribution to Zn intake by Cuban population..... 8  
Oscar Díaz Rizo, Susana Olivares Reumont, Otoniel Denis Alpízar, Lázaro Lima Cazorla,  
Katia D'Alessandro Rodríguez, Juana O. Arado López
- Measurement of the photoeffect cross section and the K-absorption edge energy  
of Dy, Ta, Pt and Au atoms using bremsstrahlung..... 12  
Juan Alejandro García Álvarez, Neivy López Pino, Oscar Díaz Rizo, Yasser Corrales, Fátima Padilla Cabal,  
Mailyn Pérez Liva, Katia D'Alessandro, Nora L. Maidana
- Heavy metal and natural radionuclide levels in urban soils from Cienfuegos city, Cuba..... 17  
Oscar Díaz Rizo, Eduardo Quintana Miranda, Carlos M. Alonso Hernández, Héctor Cartas Águila,  
Katia D'Alessandro Rodríguez, Neivy López Pino, Juana O. Arado López

## Technology Innovation

- Automated calibration of dosimeters used in radiotherapy..... 23  
Andy L. Romero Acosta, Stefan Gutiérrez Loes
- Magazines certified as serial scientific and technological publications ..... 29
- Information for authors ..... 31

### Consejo Editorial

Doctor en Ciencias Químicas José Morín Zorrilla, Doctor en Ciencias Médicas Juan Cárdenas Herrera, Doctor en Ciencias Físicas Luis Felipe Desdín García, Doctor en Ciencias Físicas Oscar Díaz Rizo, Doctor en Ciencias Biológicas Omar García Lima, Doctor en Ciencias Químicas Juan Jaen, Doctor en Ciencias Ramón B. Pomés Hernández, MSc. en Ingeniería Nuclear Ramón R. Cardona, Dr. en Ciencias Médicas Juan Perfecto Oliva, Dr. en Ciencias Físicas Ramiro J. Guerra Valdés, Dr. en Ciencias Físico-Matemáticas Darío R. Gandarías Cruz

**Director:** Manuel Álvarez González / **Redactor Técnico:** Marta A. Contreras Izquierdo / **Edición:** Dulce María García Medina / **Diseño:** D.i. Liodibel Pablo Claro Drake  
**Composición:** Magaly Cruz Jorge / **Traducción:** Marieta Crespo, Odalys González Solosabal / **Indización INIS:** Iraida Oviedo Rivero / **Referencias:** Miriam Amado Picasso / **Fotomecánica:** Alain Ciérvides Sánchez / **Producción:** Maikel Carrero Pérez, Lonier Torres Mederos / **Encuadernación:** María Cristina Herrera Rosell, Lázara Pérez Díaz

Revista arbitrada, certificada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Referenciada en la **Base de Datos INIS**, en **CUBACIENCIAS** Periódica, en el Sistema de Información **LATINDEX**, en el **ULRICH'S, EBSCO, SCIELO** y en **INFORMNAUKA**.

# Inventario de referencia de $^{137}\text{Cs}$ para estudios de erosión de los suelos en la provincia de Cienfuegos, Cuba

Rita Y. Sibello Hernández<sup>1</sup>, José Manuel Febles González<sup>2</sup>, Alicia L. Toledo Sibello<sup>3</sup>, Roberto Suárez

Surí<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Cuba

<sup>2</sup>Universidad de La Habana, Cuba

<sup>3</sup>Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas, Cuba

<sup>4</sup>Universidad de Cienfuegos, Cuba

rita@ceac.cu

## Resumen

Para la aplicación exitosa de la técnica del  $^{137}\text{Cs}$  en estudios de erosión del suelo es necesario establecer correctamente el inventario de referencia que representa la entrada total de este radionúclido a la superficie terrestre. En tal sentido, se selecciona un sitio que no haya sido perturbado ni por la erosión ni por el depósito, reconocido como sitio de referencia. En la práctica encontrar estos sitios suele ser difícil. El objetivo de esta investigación fue establecer el inventario de referencia de  $^{137}\text{Cs}$  para localidades de la provincia de Cienfuegos. Quedó establecido que el intervalo de confianza del inventario de referencia de  $^{137}\text{Cs}$  es 1082; 1266 Bq/m<sup>2</sup>, con una confiabilidad del 90% y el coeficiente de variación del inventario de referencia en las localidades investigadas fue de 11%. Estos valores están en correspondencia con los reportados por otros autores para sitios similares. Asimismo, se determinó la dependencia lineal entre los inventarios de  $^{137}\text{Cs}$  y los promedios históricos de las precipitaciones, con un coeficiente de correlación de 0.94. Esta función lineal se podrá utilizar en la estimación de los inventarios de referencia donde sea complejo encontrar sitios de referencia y por el contrario se disponga de suficiente información respecto a las precipitaciones.

**Palabras clave:** radiactividad, ecosistemas, suelo, erosión, cesio 137, inventarios

## $^{137}\text{Cs}$ reference inventory for the soils erosion studies in Cienfuegos, Cuba

### Abstract

For the successful application of the  $^{137}\text{Cs}$  technique in soil erosion studies, it is necessary to establish the reference inventory correctly as it represents the total entrance of this radionuclide into the earth's surface. In this sense, a site that has not been perturbed neither for the erosion nor for the deposit, is selected as reference site. In practice to find such sites is usually difficult. The objective of this research was to establish the reference inventory of  $^{137}\text{Cs}$  for the studied localities of Cienfuegos province. It was established that the confidence interval at 90% of probability of the  $^{137}\text{Cs}$  reference inventory is 1082; 1266 Bq/m<sup>2</sup>, and the variation coefficient of the reference inventory in the researched localities was of 11%. These values are in correspondence with those reported by other authors for similar places. Also the lineal dependence between the inventories of  $^{137}\text{Cs}$  and the historical averages of the precipitations was determined, with a correlation coefficient of 0.94. This lineal function will be able to be used to obtain or to confirm the reference inventories from rainfall data.

**Key words:** radioactivity, ecosystems, soils, erosion, cesium 137, inventories

## Introducción

Todos los países y regiones del mundo han experimentado cambios en su desarrollo derivados del proceso de globalización. Estos cambios han estado acompañados por el incremento aparente de la variabilidad climática, el cambio de uso de la tierra, la deforestación y la degradación de los suelos [1].

Un elevado porcentaje del fondo de suelos de la República de Cuba se encuentra afectado por procesos de carácter natural o antrópico, con una marcada preponderancia de los segundos, que han conducido a que los procesos erosivos afecten más de 2.5 millones de hectáreas [2].

Las investigaciones de erosión de los suelos es una labor de importancia capital y es un ejercicio que, empleando las técnicas clásicas, suele ser complejo y consume gran cantidad de tiempo, amén de los problemas de comparación de los resultados obtenidos con unos y otros métodos [3-5]. En Cuba, el uso de nomenclaturas y técnicas de medición diferentes, han generado problemas de comparación y son frecuentes las estimaciones de pérdidas disímiles del estado de erosión de los suelos en el país [6-8].

La búsqueda de técnicas alternativas para estimar la erosión de los suelos, y complementar los métodos existentes ha dirigido la atención al uso de los radionúclidos, en particular la precipitación radiactiva del <sup>137</sup>Cs como trazador para obtener la estimación de la erosión de los suelos y la deposición en las tierras agrícolas [5]; [9-11]. Estudios previos, muy limitados y en general aislados, han utilizado la técnica del <sup>137</sup>Cs para estimar las pérdidas de suelo por erosión, demostrando su factibilidad y aplicabilidad en suelos cubanos [12-14].

Asimismo, para la aplicación exitosa de la técnica del <sup>137</sup>Cs es necesario conocer su ingreso total en el suelo. En muchos casos no se dispone de estos datos, por lo que algunos autores plantean la posibilidad de obtener este valor partiendo de los reportados en sitios ubicados en el mismo hemisferio del lugar de estudio mediante un escalado [15]. Otros investigadores refieren que este valor es posible determinarlo en los llamados sitios de referencia, los cuales deben cumplir importantes requisitos [16]. En la práctica, una importante limitación de la técnica es precisamente encontrar estos sitios.

En el trabajo se presentan los resultados del estudio del <sup>137</sup>Cs respecto a su valor medio y su variabilidad espacial en los sitios tomados como referencia en las localidades investigadas, con el objetivo de establecer con un 90% de confianza el valor del inventario de referencia en la provincia de Cienfuegos. El establecimiento de este valor es de gran importancia, ya que sustenta las bases estadísticas de una de las principales dificultades prácticas de esta técnica radiométrica, facilitando su uso en futuras aplicaciones en otras zonas de la provincia y el país. Estos resultados enriquecen la base de datos existente sobre los inventarios de referencia en el mapa mundial; principalmente para Cuba y para la región del Caribe. También, por regresión lineal simple, se determinó la relación entre los inventarios de referencias

y las precipitaciones medias históricas reportadas para cada sitio, con un coeficiente de correlación  $r = 0.94$ . Este tipo de correlación después de validada se puede utilizar para determinar o confirmar los inventarios de referencia, utilizando únicamente las series históricas de precipitaciones, lo cual es de gran utilidad. El modelo de dependencia entre los inventarios de referencia de <sup>137</sup>Cs y el promedio histórico de lluvia, constituye un aspecto novedoso para este tipo de estudio y se deberá enriquecer con futuras mediciones. Otro aspecto importante es el uso de los métodos estadísticos en el diseño de la investigación, lo cual pudiera servir de guía a otros investigadores. A pesar de la importancia del tema, un gran número de trabajos publicados carece de un riguroso tratamiento estadístico del inventario de referencia [17-18], aún cuando de su correcta determinación depende enormemente la aplicación de la técnica del <sup>137</sup>Cs en la estimación de la redistribución del sedimento en el paisaje.

## Materiales y métodos

### Selección de los sitios de referencia y análisis estadístico para el establecimiento del inventario de referencia en las localidades estudiadas de Cienfuegos

El inventario de <sup>137</sup>Cs medido en sitios identificados como de referencia constituyó la variable a analizar. Prácticamente fue imposible determinar la misma en todos los puntos del terreno de la población a caracterizar; en tal sentido se muestreó una proporción de la población y, fundamentados en las técnicas estadísticas, se caracterizó a esta como un todo [18]. Para evaluar el inventario de <sup>137</sup>Cs en los sitios de referencia, el número óptimo de muestras que se deben tomar es una interrogante importante, que tiene que ser correctamente respondida.

Se partió de la hipótesis de que no deben existir grandes variaciones en los valores de inventario de <sup>137</sup>Cs en los sitios seleccionados como referencia en la provincia de Cienfuegos, es decir, que la varianza de esta población no sea grande. Varios autores [19-25], han demostrado que los valores de los inventarios de <sup>137</sup>Cs poseen una correspondencia lineal con las lluvias caídas, principalmente en los períodos de mayor auge de las explosiones nucleares de gran potencia en la atmósfera.

Es significativo, que en los sitios investigados no existen grandes diferencias climáticas y los regímenes de lluvias reportados en cada uno de ellos están en general en el mismo orden de magnitud. Es decir, se asume que en el pasado, cuando tuvieron lugar las mayores deposiciones de <sup>137</sup>Cs en la provincia, tampoco existían grandes diferencias en sus regímenes pluviométricos [26,27]. En conclusión, los valores depositados de <sup>137</sup>Cs en los sitios estudiados están en el mismo orden de magnitud. Bajo esta presunción se aplicó el muestreo simple aleatorio (MSA) [28]. Aún cuando la varianza

sea grande, si el número de muestras también lo es, se puede aplicar el MSA; pero en este caso una limitante sería la poca disponibilidad en la práctica de sitios que se pudieran considerar como de referencia, además del costo implicado en los muestreos y la ejecución de las mediciones [16].

### Características de los sitios de referencia en las localidades de Cienfuegos

Para determinar el inventario de referencia y el estudio de la variabilidad espacial del  $^{137}\text{Cs}$  se seleccionaron sitios que, con una simple inspección, reunían los requisitos recomendados para sitios de referencia (cercanos al lugar de estudio, ángulo de inclinación mínimo, nulo o casi nulo, cobertura vegetal durante todo el año, no afectados ni por la erosión ni por el depósito, principalmente) [16].

En cada sitio de estudio se seleccionaron, al menos, dos posibles sitios de referencia. Las muestras de suelo se tomaron con un cilindro de 8 cm de diámetro, con incrementos en la profundidad del suelo de 2.5 cm, lo cual permitió, después de medidas las muestras, conocer la distribución del radisótomo en todo el perfil, dilucidando si se correspondía ciertamente con un suelo de referencia o no. En cada sitio de referencia se colectaron además, dos perfiles completos de suelo. Los sitios de referencia se caracterizan por una distribución de  $^{137}\text{Cs}$  en la profundidad del perfil en forma de exponencial decreciente [29]. Según esta característica, de los sitios seleccionados como posibles sitios de referencia en las localidades investigadas (Figura 1), solo siete constituyeron verdaderos sitios de referencia. Tabla 1.

Las muestras en el laboratorio fueron secadas al aire libre y se pasaron por un tamiz de 2 mm, y de la fracción fina se tomaron muestras para medirlas en un espectrómetro gamma de alta pureza de germanio, para determinar las concentraciones de  $^{137}\text{Cs}$ .

### Características del sistema espectrométrico utilizado para determinar la actividad de $^{137}\text{Cs}$ en las muestras de suelo

Las muestras se analizaron en un sistema espectrométrico gamma con detector de alta pureza de germanio HpGe, del tipo NGC 3019, con resolución (FWHM) de 1.9 keV y un 30% de eficiencia relativa para la energía de 1332 keV de cobalto - 60 ( $^{60}\text{Co}$ ). Este fue previamente calibrado para determinar la actividad de  $^{137}\text{Cs}$  en la energía de 661.8 keV de sus cuantos gamma. Como geometría de medición se utilizó un envase cilíndrico plástico hermético, de diámetro 75 mm y altura 30 mm, el cual se colocó encima del detector. Durante la colección de los espectros se emplearon tiempos de medición de 24 horas. El procesamiento de los espectros se realizó con el software WIN XP / WINNER 6.0, el cual incluye la identificación de picos y cálculo de áreas.

### Cálculo del inventario

A partir de esta actividad se calculó el inventario de  $^{137}\text{Cs}$  para cada perfil de suelo en los sitios seleccionados como sitios de referencia según la ecuación 1.

$$\text{IM} = (\text{AESM} \times \text{CPF}) / \text{ASH} \quad (1)$$

donde

IM = inventario de  $^{137}\text{Cs}$  de la muestra ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ).

AESM = actividad específica de la muestra entregada para el análisis espectrométrico ( $\text{Bq}/\text{kg}$ ).

CPF = (Peso corregido de la fracción fina de la muestra (kg).

CPF = PT - PG; (PT = Peso total de la muestra seca (kg); PG = Peso de la fracción gruesa (kg)).

ASH = Área superficial horizontal de la muestra ( $\text{m}^2$ ).

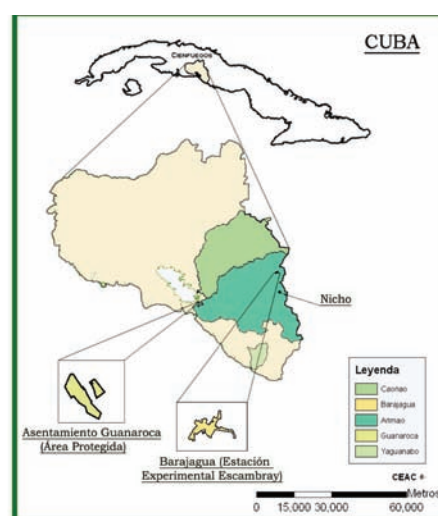


Figura 1. Localidades donde se ubican los sitios estudiados para el establecimiento del inventario de referencia de  $^{137}\text{Cs}$  en la provincia de Cienfuegos

### Ecuaciones utilizadas en el análisis estadístico para el establecimiento del inventario de referencia de las localidades estudiadas

Para estimar la media  $\mu$  y la varianza  $\sigma^2$  de los inventarios de referencia de  $^{137}\text{Cs}$  se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n} \quad (3)$$

donde  $\bar{X}$  es el valor promedio de los inventarios  $x_i$  de  $^{137}\text{Cs}$  medidos.

$n$ ... es el tamaño de la muestra, es decir el total de inventarios, que se corresponde con el total de sitios de referencia de la muestra piloto.

**Tabla 1.** Características de los sitios de referencia seleccionados en las localidades investigadas de Cienfuegos

Sitios de referencia Localización	Tipo de suelo	Características principales del suelo
No.1 y No. 2 Barajagua	Pardo Grisáceo Típico	Sustentado sobre granodiorita. Composición textural: 61.7% de arena gruesa; 19.3% de arena fina; 9.25% de limo y 9.67% de arcilla. Posee 1.3% de materia orgánica y densidad aparente de 1.02 Mg/m <sup>3</sup>
No. 3 El Nicho	Ferralítico Rojo	Sustentado sobre rocas calcáreas y esquistos. Composición textural arcilloso. Posee de 2% a 4% de materia orgánica
No. 4; No. 6 y No. 7 Yaguanabo	Pardo sin Carbonato Típico	Sustentado sobre roca ígnea intermedia, saturado > 75%. Composición textural: franco-arcilloso; mediana graviliosidad (16-50%), moderadamente pedregoso (0.01 – 0.1%). La densidad aparente es de 1.35 Mg/m <sup>3</sup> .
No. 5 Guanaroca	Pardo con Carbonato Típico	Sustentado sobre eluvios carbonatados. Composición textural arcilloso de tipo 1:1 (caolininita), que dada su baja capacidad de retención, propicia fertilidad natural baja o media. La capacidad de cambio catiónico oscila entre 25-55 Cmol (+).Kg <sup>-1</sup> de suelo

Para determinar el número óptimo de sitios de referencias “n”, necesarios para poder estimar con una confiabilidad del 90% la media y la varianza del inventario de referencia, se utiliza la siguiente expresión:

$$n = \frac{\sigma^2 Z_{\alpha/2}^2}{d^2} \quad (4)$$

donde

$\alpha = 0,1$

$Z_{\alpha/2} = 1.65...$  Considerando una distribución normal.

$d...$  es el error permitido que fue prefijado para el estimado del inventario de referencia en un 10% de la media de la muestra.

El tamaño de la muestra, que garantiza la exactitud y confiabilidad preestablecidas, se determina por un proceso iterativo que consta de los pasos siguientes:

Paso 1: se parte de una muestra piloto de tamaño  $n'$  tomada a conveniencia y se calcula S y el error máximo de la estimación realizada  $d'$  que produce la muestra según:

$$d' = \frac{t_{\alpha/2}^{n-1} S}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

si se cumple que  $d' \leq d$  se concluye el proceso y el tamaño de muestra utilizado es el correcto; si  $d' > d$  se va al paso 2.

Paso 2: se sustituye en la fórmula (4) a sigma por S con la cual se calcula el tamaño de muestra n.

Paso 3: se completa la muestra de tamaño n y se calcula nuevamente S y el error máximo de la estimación realizada  $d' = \frac{t_{\alpha/2}^{n-1} S}{\sqrt{n}}$  (5), que produce tal muestra, si se cumple que  $d' \leq d$  se concluye el proceso y el tamaño de muestra calculado es el correcto; si se cumple que  $d' > d$ , se repite el proceso comenzando en el paso 2.

Para aplicar el procedimiento anterior es necesario corroborar la condición de normalidad de la variable en estudio. Para verificar esta hipótesis se utiliza la prueba

de bondad de ajuste de Kolgomorov-Smirnov (K-S).

Para determinar el intervalo de confianza del inventario de referencia, con una confiabilidad del 90%, se utiliza la expresión (6); [28]:

$$\left[ \bar{X} - \frac{t_{\alpha/2}^{n-1} S}{\sqrt{n}}; \bar{X} + \frac{t_{\alpha/2}^{n-1} S}{\sqrt{n}} \right] \quad (6)$$

Otro indicador importante de la variación, según Sutherland [18], es el Coeficiente de Variación (CV) (Desviación Standard (S) /Valor Medio (X) x 100%):

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \quad (7)$$

Este CV se utiliza como indicador de la variabilidad espacial de <sup>137</sup>Cs. La dependencia entre los inventarios de referencia de <sup>137</sup>Cs y los promedios históricos de lluvia se establece con el uso de una regresión lineal simple.

## Resultados y Discusión

En la Tabla 2 se reportan los valores de la actividad de <sup>137</sup>Cs (A) medidos en muestras de suelo, los inventarios de <sup>137</sup>Cs (I) para los sitios tomados como referencia calculados para el año 2002, el valor promedio X, y la varianza obtenidos respectivamente.

La muestra piloto utilizada quedó constituida por los siete valores de inventario de <sup>137</sup>Cs correspondiente a cada uno de los sitios de referencia.

La hipótesis de normalidad de la variable inventario de <sup>137</sup>Cs en la población en estudio se verificó a partir de la muestra piloto con el uso de la prueba K-S, con una significación estadística de 0.97.

De acuerdo con el paso 1 del algoritmo para determinar el tamaño de muestra óptimo de sitios de referencias, para estimaciones con una confiabilidad del 90% y un error máximo permisible de un 10% del valor promedio calculado para la muestra piloto, 117 Bq/m<sup>2</sup>, resultó un error  $d' = 91.87 < 117 = d$ , por lo que se concluye el proceso, y que la muestra piloto es representativa de la población.

**Tabla 2.** Valores de inventarios de referencia de  $^{137}\text{Cs}$  en localidades de la provincia de Cienfuegos

Sitios de referencia	Profundidad (cm)	A $\pm$ $\mu$ (Bq/kg)	I (Bq/m <sup>2</sup> )	I Total (Bq/m <sup>2</sup> )
No. 1	2.5	4.24 $\pm$ 0.99	105 $\pm$ 25	1222 $\pm$ 92
	5.0	5.13 $\pm$ 0.79	182 $\pm$ 30	
	7.5	7.48 $\pm$ 0.94	277 $\pm$ 39	
	10.0	5.9 $\pm$ 1.2	147 $\pm$ 30	
	12.5	4.2 $\pm$ 1.0	210 $\pm$ 54	
	15.0	3.42 $\pm$ 0.69	130 $\pm$ 27	
	17.5	3.10 $\pm$ 0.74	98 $\pm$ 24	
	20.0	2.45 $\pm$ 0.61	75 $\pm$ 19	
	22.5	< 0.66		
No. 2	2.5	6.34 $\pm$ 0.92	257 $\pm$ 41	1075 $\pm$ 88
	5.0	5.0 $\pm$ 1.2	177 $\pm$ 44	
	7.5	6.7 $\pm$ 1.0	157 $\pm$ 26	
	10.0	7.4 $\pm$ 1.0	339 $\pm$ 51	
	12.5	4.21 $\pm$ 0.81	143 $\pm$ 29	
	15.0	< 0.42		
	17.5	1.62 $\pm$ 0.50	1.62 $\pm$ 0.50	
	20.0	0.84 $\pm$ 0.28	0.84 $\pm$ 0.28	
	22.5	< 0.01	257 $\pm$ 41	
No. 3	2.5	8.6 $\pm$ 1.2	305 $\pm$ 43	1400 $\pm$ 90
	5.0	6.3 $\pm$ 1.0	195 $\pm$ 32	
	7.5	7.2 $\pm$ 1.3	176 $\pm$ 31	
	10.0	6.8 $\pm$ 1.4	236 $\pm$ 49	
	12.5	5.7 $\pm$ 1.1	237 $\pm$ 47	
	15.0	4.0 $\pm$ 1.0	166 $\pm$ 42	
	17.5	< 0.55		
	20.0	1.41 $\pm$ 0.44	59 $\pm$ 18	
	22.5	< 0.16		
No. 4	2.5	4.79 $\pm$ 0.83	148 $\pm$ 27	1161 $\pm$ 25
	5.0	5.62 $\pm$ 0.97	149 $\pm$ 27	
	7.5	5.32 $\pm$ 0.94	216 $\pm$ 40	
	10.0	5.35 $\pm$ 0.86	168 $\pm$ 29	
	12.5	4.94 $\pm$ 0.66	214 $\pm$ 32	
	15.0	1.34 $\pm$ 0.47	48 $\pm$ 16	
	17.5	1.43 $\pm$ 0.32	79 $\pm$ 23	
	20.0	1.38 $\pm$ 0.40	67 $\pm$ 34	
	22.5	1.35 $\pm$ 0.45	49 $\pm$ 25	
25.0		25 $\pm$ 13		
No. 5	2.5	6.67 $\pm$ 0.97	162 $\pm$ 26	1088 $\pm$ 19
	5.0	4.54 $\pm$ 0.53	116 $\pm$ 15	
	7.5	7.06 $\pm$ 0.95	73 $\pm$ 11	
	10.0	7.73 $\pm$ 0.71	177 $\pm$ 19	
	12.5	6.72 $\pm$ 0.69	286 $\pm$ 34	
	15.0	5.45 $\pm$ 0.67	120 $\pm$ 17	
	17.5	2.73 $\pm$ 0.42	58.9 $\pm$ 9.8	
	20.0	2.21 $\pm$ 0.57	33.5 $\pm$ 8.9	
	22.5	1.83 $\pm$ 0.99	37 $\pm$ 20	
25.0	1.23 $\pm$ 0.63	25 $\pm$ 13		
No. 6	25.0	3.240 $\pm$ 0.070		1052 $\pm$ 23 Recalculado (año 2002) 1237
No. 7	25.0	2.87 $\pm$ 0.14		880 $\pm$ 43 Recalculado (año 2002)
$\bar{X}$				1035
s <sup>2</sup>				1174
d				15652.51
				117



Por otra parte, se determinó que el intervalo de confianza del inventario de referencia de <sup>137</sup>Cs es [1082; 1266] Bq/m<sup>2</sup>, con una confiabilidad del 90%. El establecimiento del inventario de referencia sustentado en el análisis estadístico posibilita la aplicación exitosa de la técnica en futuras investigaciones.

Asimismo, el CV relacionado con la variabilidad espacial del <sup>137</sup>Cs en los sitios seleccionados como referencia fue de 11%, y está en el orden de los valores reportados por Sutherland (1991) (5.1-41%) para sitios enclavados en praderas o pastizales y menor que los valores reportados para el sitio de referencia de la Cuenca del Río Máximo en Cuba por Brígido [12]. El CV para sitios de referencia con bosques puede ser más alto, según Sutherland (de 19-47%) [18].

En la Tabla 3 se muestra la comparación de los resultados obtenidos con los reportados por otros investigadores.

El inventario de referencia determinado en el estudio corrobora los valores reportados por Sibello (2005) y están en igual orden de magnitud que los valores reportados por Gil (2004).

Asimismo, los valores algo inferiores reportados por Brígido [12], pudieran estar relacionados con un régimen de lluvia también ligeramente inferior a los sitios reportados por Gil [13] y Sibello [14].

Por otra parte, basados en los valores reportados de los inventarios de referencia por diferentes investigadores en Cuba (Tabla 4) y los promedios anuales de lluvias para cada sitio, se obtuvo un coeficiente de correlación lineal  $r = 0.94$  para un nivel de confianza del 95%, lo que sugiere una dependencia lineal del inventario de referencia de <sup>137</sup>Cs con las precipitaciones (Figura 2).

Se obtuvo por regresión lineal simple la función  $y = 1.9879 x - 1065.9$  ( $r = 0.94$ ;  $n = 5$ ;  $P = 0.02$ ;  $r^2 = 0.85$ )

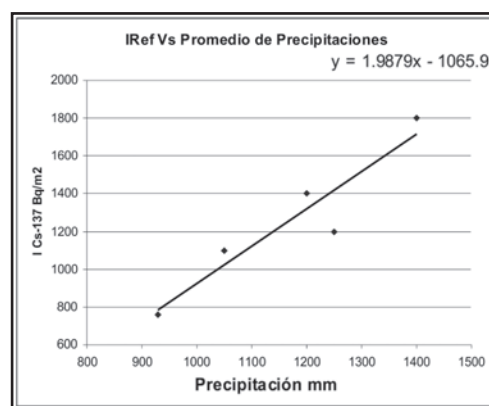


Figura 2. Dependencia lineal entre los inventarios de referencia reportados en Cuba y las precipitaciones medias históricas correspondientes a estos sitios

que sugiere una fuerte relación lineal entre las precipitaciones medias anuales “x” y los valores de <sup>137</sup>Cs en los sitios de referencia “y”.

El uso de esta ecuación posibilita estimar el inventario de referencia del <sup>137</sup>Cs (y) en (Bq/m<sup>2</sup>) en lugares donde sea engorroso encontrar sitios de referencia o en situaciones donde existan limitaciones económicas y se conozcan los valores históricos promedios de lluvia (x) (mm), toda vez que se haya validado la ecuación con una muestra de mayor tamaño. Además, es una forma de verificar los valores de referencia que se hayan determinado empíricamente.

Funciones lineales de este tipo se han obtenido y se han utilizado en algunos países donde la determinación de los inventarios de referencia ha sido muy compleja para aplicar la técnica del <sup>137</sup>Cs [24]. Los valores de los inventarios de referencia de <sup>137</sup>Cs se deben comparar con los datos disponibles al respecto.

Tabla 3. Comparación de los resultados con otros investigadores del país

Fuentes	IRef Cs-137	Promedio histórico Anual de lluvias	Coefficiente variación
Gil (2004)	954.93 Bq/m <sup>2</sup> (medido) 1847.00 Bq/m <sup>2</sup> (calculado por software)	1400 mm	---
Brígido (2006)	674.4 ± 90.9 Bq/m <sup>2</sup>	930 mm	27.5%
Sibello (2005)	1300 ± 90 Bq/m <sup>2</sup>	1200-1300 mm	---
Sibello (estudio actual)	1082 – 1266 Bq/m <sup>2</sup>		11%

Tabla 4. Correlación entre los valores de inventarios de referencia de <sup>137</sup>Cs y el promedio anual de lluvias

Reporte	Localidad	Promedio histórico Anual de lluvias	IRefCs-137(Bq/m <sup>2</sup> )
Gil Castillo, 2004	Provincia de Pinar del Río, municipio San Juan y Martínez	1400 mm	954.93 (medido) 1847.00 (calculado)
Brígido Flores, 2006	“La Victoria”, Cuenca del río Máximo en Camagüey	930 mm	674.4 ± 90.9
Sibello Hernández, 2005	Barajagua, Cienfuegos Nicho, Cienfuegos	1200 mm 1200-1300 mm	1200 ± 90 1400 ± 90
Sibello Hernández (no publicado)	Yaguanabo	1400 mm	1200
R. Sibello Hernández (no publicado)	Guanaroca	1000-1100	1100

## Conclusiones

El análisis de la variabilidad espacial del  $^{137}\text{Cs}$  en los sitios seleccionados como referencia en la provincia de Cienfuegos con  $\text{CV} = 11\%$  está en el rango establecido en condiciones similares, es decir, bajo condiciones de pradera o pastos.

Dada la pequeña varianza entre los valores de inventario de  $^{137}\text{Cs}$  en los sitios investigados como referencia, la muestra piloto conformada por siete valores resultó ser representativa.

Se establece que el intervalo de confianza del inventario de referencia de  $^{137}\text{Cs}$  es (1082; 1266  $\text{Bq/m}^2$  con una confiabilidad del 90%, el cual está en el orden de los valores reportados para Cuba.

Se infiere una tendencia a un comportamiento lineal para la relación existente entre los valores de inventarios de referencia de  $^{137}\text{Cs}$  reportados para Cuba y el promedio histórico de las precipitaciones de los sitios de referencia correspondientes, con un nivel de confianza del 95% y un coeficiente de correlación lineal de 0.94. Este tipo de modelo es de gran utilidad, porque se puede utilizar para estimar el inventario de  $^{137}\text{Cs}$  de un determinado lugar, conociendo el promedio histórico de precipitaciones.

## Recomendaciones

La determinación de la dependencia lineal entre los inventarios de referencia y los valores de las precipitaciones obtenidas en este trabajo se deberá enriquecer con estudios similares en otras regiones. Es de significar que, mientras más puntos se obtengan mejor establecida quedará la función lineal y el inventario de referencia determinado estará más próximo al valor real.

## Referencias bibliográficas

- [1] MERTZ O, WADLEY L, CHRISTENSEN AE. Local land use strategies in a globalizing world: Subsistence farming, cash crop and income diversification. *Agricultural Systems*. 2005; 85(3): 209-215.
- [2] Ministerio de la Agricultura. Instituto de Suelos. Programa Nacional de mejoramiento y conservación de suelos. Agrinfor, 2001. 38 p.
- [3] LOUGHRAN RJ, CAMPBELL BL, ELLIOT GL, et. al. A cesium-137 sediment hillslope model with test from south-eastern Australia. *Z.Geomorph.N.F*. 1989; 33: 235-250.
- [4] MUTCHLER CK, MURPHREE CE, MCGREGOR KC. Laboratory and field plots for erosion research. In: *Soil erosion research methods*. Ankeny: SWCS Publ, 1994. p. 11-38.
- [5] POREBA GJ. Caesium-137 as soil erosion tracer: a review. *Geochronometria*. 2006; 25: 37-46.
- [6] FEBLES JM, et. al. Limitaciones objetivas del "perfil patrón" como índice diagnóstico para evaluar la intensidad de la erosión en Cuba. En: *Memorias 3ra Jornada Científica del Instituto de Suelo*. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba, 1985. p. 227-232.
- [7] VEGA MB, FEBLES JM. Evaluación de la erosividad de la lluvia en regiones agropecuarias en la porción central de la provincia La Habana. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 2006; 40(2): 215-220.
- [8] FEBLES JM, VEGA MB, FEBLES G. Integrating system of qualitative and quantitative methods to assess the erosion of the soils in the karstic regions of cattle rearing use in Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2008; 42(3): 315-319.
- [9] RITCHIE JC, MCHENRY JR. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review. *J.Environ.Qual*. 1990; 19: 215-233.
- [10] WALLING DE, QUINE TA. The use of fallout radionuclide measurements in soil erosion investigations. *Symposium on Nuclear Techniques in Soil-Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation*. STI/PUB/947. Vienna: IAEA, 1995. p. 597-619.
- [11] SAC MM, UGUR A, YENER G, ÖZDEN B. Estimates of soil erosion using cesium-137 tracer model. *Environ Monit Assess*. 2008; 136(1-3): 461-467.
- [12] BRÍGIDO FLORES O, MENDOZA L, MONTALVÁN A, RODRÍGUEZ D. Cuantificación de procesos erosivos en suelos agrícolas empleando las precipitaciones radiactivas globales del Cesio-137. VI Congreso Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, 2006. ISBN 959-7023-35-0.
- [13] GIL CASTILLO R, PERALTA VITAL JL, CARRAZANA GONZÁLEZ J, et. al. Aplicación de las determinaciones de  $^{137}\text{Cs}$  para evaluar niveles de erosión en suelos agrícolas del Occidente de Cuba. *Nucleus*. 2004; (36): 23-27.
- [14] SIBELLO HERNÁNDEZ RY, CARTAS AGUILA HA, MARTÍN PÉREZ J. Uso del Cesio-137 como radiotrazador en la cuantificación de la erosión en suelos tropicales. *Nucleus*. 2005; (38): 19-24.
- [15] WALLING DE, HE Q, BLAKE W. Use of Be-7 and Cesio-137 measurements to document short-and medium-term rates of water-induced soil erosion on agricultural land. *Water Resour. Res*. 2000; 35(12): 3865-3874.
- [16] PENNOCK DJ, APPLEBY PG. Site selection and sampling design. In: *Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides*. Chapter 2. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [17] PENNOCK DJ, APPLEBY PG. Sample Processing. In: *Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides*. Chapter 4. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [18] SUTHERLAND RA. Caesium - 137 soil sampling and inventory variability in reference locations: a literature survey. *Hidrological Processes*. 1996; 10(1): 43-53.
- [19] LOW K, EDVARSON K. Content of caesium-137 and (zirconium + niobium) - 95 in Swedish soils. *Nature*. 1960; 187: 736-738.
- [20] DAVIS JJ. Cesium and its relationship to potassium in ecology. In: *Radioecology*. New York: Reinhold Publ. Comp., 1963. p. 539-556.
- [21] LANCE JC, MCINTYRE SC, NANEY JW, ROUSSEVA V. Measuring sediment movement at low erosion rates using cesium-137. *Soil Science Society of America Journal*. 1986; 50(5): 1303-1309.
- [22] ARNALDS O, CUTSHALL NH, NIELSEN GA. Cesium-137 in Montana soils. *Health Physics*. 1989; 57(6): 955-958.
- [23] BASHER LR, MATTHEWS KM. Relationship between  $^{137}\text{Cs}$  in some undisturbed New Zealand soils and rainfall. *Australian Journal of Soil Research*. 1993; 31(5): 655-663.
- [24] BASHER LR. Surface erosion assessment using  $^{137}\text{Cs}$ : examples from New Zealand. *Acta Geológica Hispánica*. 2000; 35(3-4): 219-228.
- [25] SCHULLER P, VOIGT G, HANDL J, et. al. Global weapons fallout  $^{137}\text{Cs}$  in soils and transfer to vegetation in south-central Chile. *J. Environ. Radioactivity*. 2002; 62(2): 181-193.
- [26] LECHA L. Estudio bioclimático de la provincia de Cienfuegos. La Habana: Editorial Academia, 1993. p. 148.
- [27] RIVEROL M, et. al. Informe final del Proyecto "Uso y manejo de los suelos afectados por la erosión en los agrosistemas de las provincias occidentales y centrales del país". Programa Nacional Científico-Técnico: Los cambios globales y la evolución del medio ambiente. 1999.
- [28] SÁNCHEZ ÁLVAREZ R, TORRES DELGADO JA. Estadística elemental. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1986.
- [29] ZHANG X, ZHANG Y, WEN A, FENG M. Assessment of soil losses on cultivated land by using the  $^{137}\text{Cs}$  technique in the Upper Yangtze River Basin of China. *Soil & Tillage Research*. 2003; 69(1-2): 99-106.

Recibido: 2 de agosto de 2013

Aceptado: 24 de octubre de 2013

# Bioaccumulation of zinc in crops and its contribution to Zn intake by Cuban population

Oscar Díaz Rizo<sup>1</sup>, Susana Olivares Reumont<sup>1</sup>, Otoniel Denis Alpízar<sup>2</sup>, Lázaro Lima Cazorla<sup>1</sup>,

Katia D'Alessandro Rodríguez<sup>1</sup>, Juana O. Arado López<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC)

Ave. Salvador Allende y Luaces, La Habana, Cuba

<sup>2</sup>Universidad de Matanzas, Cuba

odrizo@instec.cu

## Abstract

Zinc content and Zn bioaccumulation in crops (rice and some vegetables and condiments) cultivated in 18 Cuban urban and suburban areas are reported. Zinc content in food and the corresponding farming soil samples was determined by X-ray fluorescence analysis and by atomic absorption spectrometry. The quality of the analysis was verified using the Certified Reference Materials IAEA 393 «Algae», MA-B-3/TM «Fish Tissue Lyophilised», IAEA V-10 «Hay» and IAEA Soil-7. The obtained results show rice, of the studied crops, as the major Zn bioaccumulator and important Zn source in Cuban human diet.

**Key words:** Cuba, diet, biological accumulation, soils, crops, X-ray fluorescence analysis, absorption spectroscopy

## Bioacumulación de zinc en cultivos y su contribución a la ingestión de Zn por la población cubana

### Resumen

Se reportan los contenidos de zinc y su bioacumulación en cultivos (arroz, vegetales y condimentos) procedentes de 18 áreas de agricultura urbana y suburbana. El contenido de zinc en los alimentos, así como en sus correspondientes suelos de cultivo, fue determinado por fluorescencia de rayos X y por espectrometría de absorción atómica. La calidad del estudio se verificó mediante el análisis de los Materiales de Referencia Certificados IAEA 393 «Algae», MA-B-3/TM «Fish Tissue Lyophilised», IAEA V-10 «Hay» e IAEA Soil-7. Los resultados mostraron al arroz, de los cultivos estudiados, como el cultivo de mayor bioacumulación de zinc y como fuente importante de Zn en la dieta de nuestra población.

**Palabras clave:** Cuba, dieta, acumulación biológica, suelos, cosechas, análisis por fluorescencia de rayos X, espectroscopia de absorción

### Introduction

Trace elements play an important role in human nutrition and health, and hundreds of millions of people around the world suffer the consequences of trace element deficiencies [1]. Among those, zinc is an essential microelement, which people solely ingest from their diet. The World Health Organization (WHO) recommends a daily optimal intake for adults of 12-15 mg of zinc [1]. Zinc influences cell division, growth and development as well as sexual maturation. It is also a membrane stabilizer and essential for the integrity of the immune system [2].

Moreover, zinc is required by more than 100 enzymes as cofactor, and it seems to help in the proper storage and release of insulin, growth and re-pair of tissues, the ability to taste food, mineralization of bone, blood clotting, the function of vitamin A and the functions of the thyroid hormones [3]. Inadequate zinc nutrition is becoming a considerable public health problem nowadays, with the WHO lastly highlighting zinc deficiency as one of the 10 major factors contributing to the burden of disease in developing countries [4].

Rice is the main garniture in Cuban diet, with population consuming (in average) around 200 grams

per day. However, urban and suburban agriculture in Cuba have accomplished a considerable increment in the ingestion of fresh vegetables (tomato, lettuce, cabbage, cucumber, gumbo, etc.) in the last decades [5]. Furthermore, garlic, onion, red pepper and parsley are quite popular condiments in Cuban cuisine. The present study summarizes zinc content determination in regular consumption foodstuff (rice, some vegetables, fruits and condiments) and its corresponding farming soils using nuclear and related techniques in order to determinate its contribution to the net Zn intake within the Cuban population's diet.

## Materials and methods

The edible parts of different crops (rice, vegetables, fruits and roots samples) and its corresponding farming soils were collected in 18 urban and suburban agricultural areas from La Habana, Matanzas and Cienfuegos cities. Composite samples, consisting on four subsamples, were collected at each site (approximately 5 x 5 m). Zinc concentrations in soils were estimated by X-ray fluorescence analysis (XRF) using Certified Reference Materials (CRM) as standards, a  $^{238}\text{Pu}$  (1.1 GBq) excitation source with ring geometry and a Canberra Si(Li) detector-based XRF spectrometer at Nuclear Analytical Lab at InSTEC (150 eV energy resolution at 5.9 keV, Be window thickness = 12.0  $\mu\text{m}$ ) coupled to a MCA, following the methodology described in [6]. On the other hand, the zinc content in rice samples was determined by XRF using set of Zn-doped cellulose samples for calibration [7], while Zn contents in the rest of the crops was determined by AAS (Buck Scientific 210 VGP) according to the procedure established and validated in the Environmental Analytical Lab at InSTEC [8] (PNO09 2007).

The accuracy was evaluated using the SR criterion, proposed by McFarrell [9]:

$$\text{SR} = \frac{|C_x - C_w| + 2\sigma}{C_w} \cdot 100\%$$

where  $C_x$  –experimental value,  $C_w$  –certified value and  $\sigma$  is the standard deviation of  $C_x$ . On the basis of this criterion, the similarity between the certified value and the analytical data obtained by the proposed methods is divided into three categories:  $\text{SR} \leq 25\%$  = excellent;  $25 < \text{SR} \leq 50\%$  = acceptable,  $\text{SR} > 50\%$  = unacceptable. The analysis of five replica of the CRMs IAEA 393 «Algae», MA-B-3/TM «Fish Tissue Lyophilised», IAEA V-10 «Hay» and IAEA Soil-7 is presented in Table 1. Both, XRF and AAS methodologies, show “excellent” ( $\text{SR} \leq 25\%$ ) results and a very good correlation ( $R = 0.999$ ) between the certified and measured values.

In order to estimate the rate at which Zn appears in the selected specie and associated soil, the biotasoil bioaccumulations factors (BFs) were calculated in the studied samples according to the formula [10]:

$$\text{BF (in \%)} = 100 \cdot \frac{C_{\text{CROP}}}{C_{\text{SOIL}}}$$

where  $C_{\text{CROP}}$  and  $C_{\text{SOIL}}$  are the mean concentrations of Zn in the food sample and its corresponding soil, respectively.

**Table 1.** Accuracy test for zinc content\* determination in CRMs

CRM	Method	Certified value	Measured value	SR (%)
IAEA 393	XRF	141	138 $\pm$ 2	4
MA-B-3/TM	XRF	109.2	114.7 $\pm$ 1.4	7
IAEA V-10	AAS	22	22 $\pm$ 1	9
IAEA Soil-7	XRF	104	104 $\pm$ 5	9

\* - in  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  dry weight,  $n = 5$ .

## Results and Discussion

Zinc content in all studied food samples are shown in Table 2. The highest mean content and bioaccumulation values were found in the studied rice samples (35.9  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  fresh weight and 41.0%, respectively), while the lowest content was found in tomato fruits. As it is well known, rice is one of the most frequently consumed cereals worldwide, especially in developing countries. For this reason, in the last decade different studies were performed (supported by FAO) in order to solve the Zn deficiency in rice. For example, positive results were obtained by doping rice seeds with  $\text{ZnSO}_4$  or using Zn doped fertilizers [11] and applying biotechnological techniques to increase the essential metal absorption by plants [12]. Cuba was part of these FAO studies evidencing the high Zn content in our cultivated rice. Thus, around the 70% of the established Zn daily intake by Cuban regulations (1  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  body weight  $\text{day}^{-1}$ ) [13] is supplied by rice consumption.

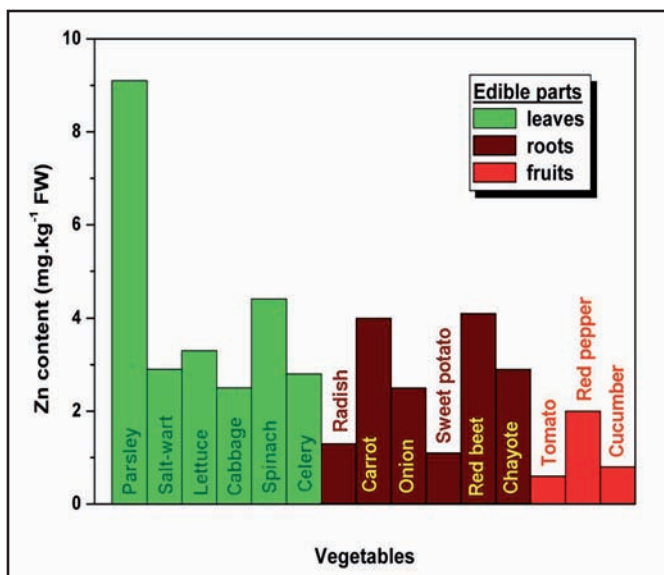
For the rest of the studied crops (vegetables and condiments), the determined Zn concentration (and the corresponding bioaccumulation) is very low when compared to rice Zn content and bioaccumulation. The concentration values are similar to those reported by other authors and, for the major part of the studied fruits and vegetables, the Zn content does not exceed its maximum allowable limit (10.0  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  fresh weight) specified by Cuban regulations [13]. In the studied vegetables, on average, higher zinc content was found in those with leaves as edible parts (Figure), compared with vegetables of which edible parts are roots and fruits.

In Cuba, from the studied vegetables, only lettuce, cabbage, onions, tomato, red pepper and cucumber are frequently consumed. Assuming an average daily consumption (in one month) of rice – 200 g, vegetables whose edible parts are leaves – 100 g, vegetables whose edible parts are roots – 100 g and vegetables whose edible parts are fruits – 100 g, the Daily Dietary Intakes (DDI) of Zn in Cuba would be around 8.8 mg per day. This value is similar to the recommended medium level for

**Table 2.** Zinc content in Cuban ( $C_{CROP}$ ) and worldwide reported ( $C_{REP}$ ) crops, in its corresponding soils ( $C_{SOIL}$ ) and Bioaccumulation Factors (n – number of studied sites)

Crop	n	$C_{CROP}$ (a)	$C_{REP}$	$C_{SOIL}$ (b)	BF (%)
Rice	5	35.9 ± 1.8	37.9 [10]	87 ± 10	41.2
Lettuce	10	3.3 ± 1.7	11.7 [14] 5.1 [15]	145 ± 73	2.3
Tomato	9	0.6 ± 0.3	1.4 [14] 0.7 [16] 0.9 [17]	145 ± 81	0.4
Radish	5	1.3 ± 0.3	3.2 [18]	150 ± 130	0.9
Salt-wort	6	2.9 ± 0.8	NA	107 ± 55	2.7
Carrot	5	4.0 ± 1.0	2.6 [14] 6.1 [16] 5.8 [18]	112 ± 22	3.6
Onion	5	2.5 ± 1.2	1.7 [14]	177 ± 63	1.4
Red pepper	5	2.0 ± 0.8	2.9 [19]	106 ± 54	1.9
Parsley	4	9.1 ± 5.3	5.0 [17] 4.9 [20]	95 ± 55	9.6
Sweet potato	4	1.1 ± 0.3	1.6 [20]	65 ± 13	1.7
Cabbage	5	2.5 ± 3.5	2.2 [14] 2.2 [17] 2.0 [16]	142 ± 47	1.7
Red beet	4	4.1 ± 1.5	2.6 [16]	106 ± 8	3.9
Spinach	4	4.4 ± 2.9	7.0 [19] 5.9 [21]	124 ± 13	3.5
Garlic	4	12.6 ± 7.3	11.7 [18]	174 ± 57	7.2
Celery	4	2.8 ± 1.8	2.9 [17] 2.9 [20]	133 ± 16	2.1
Chayot	4	2.9 ± 2.3	2.5 [10]	70 ± 15	4.1
String bean	4	6.3 ± 2.3	NA	133 ± 74	4.7
Cucumber	4	0.8 ± 0.2	0.8 [16] 1.3 [17] 1.3 [20]	112 ± 13	0.7
Gumbo	5	5.5 ± 1.6	5.8 [20]	164 ± 90	3.3

(a) – Mean ± SD in mg.kg<sup>-1</sup>, fresh weight.  
 (b) – Mean ± SD in mg.kg<sup>-1</sup>, dry weight.  
 NA – non available



Comparison of average Zn content in individual groups of vegetables

Zn intake (8.7 mg per day) [1] and it is the 80% of the US Recommendable Dietary Allowances (11.0 mg per day) [22].

This seems to indicate that Cuban population would be able to meet the normative requirements if consuming diets of uniformly low zinc bioavailability. It is also apparent that dietary intake data taken alone (without consideration of the bioavailability) does not allow a reliable assessment of whether a particular population has an adequate or inadequate nutrition.

The bioavailability of zinc from different diets depends on many factors. High availability is found only in refined diets low in cereal fibre and phytic acid contents, and with adequate proteins, mainly from non-vegetable sources such as meat and fish. Therefore, Zn content in meat and fish tissues remains to be assessed by a specific study to estimate a more accurate Zn DDI of the Cuban population.

## Conclusions

The combination of XRF and AAS allowed the Zn content determination in an important group of food samples, as well as its bioaccumulation and its contribution to the Daily Dietary Intake of Zn in Cuba. Higher zinc contents were found in vegetables whose edible parts are leaves. The obtained result shows rice as the main Zn bioaccumulator and major contributor to Zn DDI within the studied crops. Although a large portion of the Cuban population's diet has been studied, analysis of additional foodstuff, such as fish and meat, still remains necessary for a complete Zn DDI report.

## References

- [1] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Trace Elements in Human Nutrition and Health. Geneva: WHO, 1996.
- [2] SCHLESINGER L, AREVALO M, ARREDONDO S, et. al. Effect of a zinc-fortified formula on immuno-competence and growth of malnourished infants. *Am J Clin Nutr.* 1993; 56(3): 491-498.
- [3] HANDS ES. Nutrients in food. London: Lippincott Williams and Wilkins, 1999.
- [4] PARR RM, ARAS NK, IYENGAR GV. Dietary intakes of essential trace elements: Results from total diet studies supported by the IAEA. *J Radioanal Nucl Chem.* 2006; 270: 155-161.
- [5] ALTIERI MA, COMPANIONI N, CAÑIZARES K, et. al. The greening of the "barrios": urban agriculture for food security in Cuba. *Agric Hum Values.* 1999; 16(2): 131-140.
- [6] DÍAZ RIZO O, ECHEVARRÍA F, ARADO JO, MERLO M. Assessment of heavy metal pollution in urban soils of Havana city, Cuba. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2011; 87(4): 414-419.
- [7] DENIS ALPÍZAR O, DÍAZ RIZO O. Zinc content in rice and other agriproduct by X-ray fluorescence. *Nucleus.* 2009; (46): 34-39.
- [8] InSTEC. Cd, Pb, Zn and Cu content determination in fresh vegetables. Quality Assurance System of the Environmental Analytical Laboratory. Procedure No. 9 (PNO09). La Habana: InSTEC, 2007 (in Spanish).
- [9] QUEVAUVILLER Ph, MARRIER E. Quality Assurance for Environmental Analysis In: Quality Assurance for Environmental Analysis. *Tech. Instrum. Anal. Chem.* 1995, 17: 1-25.
- [10] VIVES A, MOREIRA S, BRIENZA S, et. al. Synchrotron radiation total reflection X-ray fluorescence (SR-TXRF) for evaluation of food contamination. *J Radioanal Nucl Chem.* 2006; 270(1): 147-153.
- [11] SLATON NA, NORMAN R, WILSON CE. Effect of zinc source and application time on zinc uptake and grain yield of flood-irrigated rice. *Agron J.* 2005; 97: 272-278.
- [12] CAKMAK I. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant Soil.* 2002; 247: 3-24.
- [13] National Office of Normalization. Metallic contaminant in food-sanitary regulation. NC-493. Havana: National Office of Normalization, 2006 (in Spanish).
- [14] KABATA-PENDIAS A, PENDIAS H. Trace element in soils and plants. Boca Raton: CRC Press, 1992.
- [15] BAHEMUKA T, MUBOFU E. Heavy metals in edible green vegetables grown along the sites of the Sinza and Msimbazi rivers in Dar es Salaam, Tanzania. *Food Chem.* 1999; 66(1): 63-66.
- [16] GORBUNOV A, FROTASYEVA M, KISTANOV A, et. al. Heavy and toxic metals in staple foodstuffs and agriproduct from contaminated soils. *JINR Communication E18-2002-111.* Dubna: JINR, 2002.
- [17] BOSIACKI M, TYKSINSKI W. Copper, zinc, iron and manganese content in edible parts of some fresh vegetables sold on markets in Poznan. *J Elementol.* 2009; 14(1): 13-22.
- [18] PANDEY J, PANDEY U. Accumulation of heavy metals in dietary vegetables and cultivated soil horizon in organic farming system in relation to atmospheric deposition in a seasonally dry tropical region of India. *Environ Monit Assess.* 2009; 148(1-4): 61-74.
- [19] YUNG MC. Heavy metal concentrations in soils and factors affecting metal uptake by plants in the vicinity of a Korean Cu-W mine. *Sensors.* 2008; 8(4): 2413-2423.
- [20] IYAKA YA. Concentration of Cu and Zn in some fruits and vegetables commonly available in north-central zone of Nigeria. *EJFAFCh.* 2007; 6(6): 2150-2154.
- [21] MARCUSSEN H, JOERGENSEN K, HOLM PE, et. al. Element contents and food safety of water spinach (*Ipomoea aquatica* Forssk.) cultivated with wastewater in Hanoi, Vietnam. *Environ. Monit. Assess.* 2008, 139(1-3): 77-91.
- [22] FOOD AND NUTRITION BOARD. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington DC: National Academy Press, 2000.

Recibido: 22 de julio de 2013

Aceptado: 24 de octubre de 2013

# Measurement of the photoeffect cross section and the K-absorption edge energy of Dy, Ta, Pt and Au atoms using bremsstrahlung

Juan Alejandro García Álvarez<sup>1</sup>, Neivy López Pino<sup>1</sup>, Oscar Díaz Rizo<sup>1</sup>, Yasser Corrales<sup>1</sup>, Fátima Padilla Cabal<sup>1</sup>, Maily Pérez Liva<sup>1</sup>, Katia D'Alessandro<sup>1</sup>, Nora L. Maidana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física Nuclear. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC)  
Ave. Salvador Allende esq. Luaces, Quinta de los Molinos. La Habana, Cuba

<sup>2</sup>Laboratório do Acelerador Linear, Instituto de Física da USP, Rua do Matao, Travessa R., 187, 05508-900, SP, Brazil  
jagarcia@instec.cu

## Abstract

An experimental setup to determine the K-shell photoelectric cross-section of Dy, Ta, Pt and Au atoms was implemented at the Nuclear Analytical Laboratory (LAN) of the InSTEC. Bremsstrahlung photons, produced by <sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y beta particles hitting a thin Ni converter, were used to irradiate the target under study. A HPGe detector, coupled to standard nuclear instrumentation, collected the incident and transmitted spectra. A sharp decrease in intensity at the K-shell binding energy was observed in the transmitted spectra. The photon beam divergence effects were corrected with a calibration curve calculated with Monte Carlo simulations (MCNPX 2.6). In order to establish accurately the cross section at the K-edge energy, the obtained data was processed by two methods: fitting the total cross section to a sigmoidal function, as well as the cross section branches around the K-edge to the empirical law  $\sigma = (A/E)^n$ . The Empirical Law method was introduced in this work to minimize the detector resolution effects. The results were compared with experimental and theoretical values showing the best agreement when the thinner targets were used. For the first time the photoeffect cross section at the K-edge energy for Pt is reported at first time.

**Key words:** bremsstrahlung, photoelectric effect, cross sections, Monte Carlo method, measuring instruments

## Medición de la sección eficaz de fotoefecto y de la energía del borde de absorción K de los átomos Dy, Ta, Pt y Au utilizando radiación de frenado

### Resumen

Se determina la sección eficaz fotoeléctrica de la capa K de los átomos Dy, Ta, Pt y Au en un arreglo experimental desarrollado en el Laboratorio Analítico Nuclear del InSTEC. Los blancos bajo estudio se irradiaron con fotones de frenado producidos en un radiador de Ni por las partículas beta emitidas por una fuente de <sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y. Los espectros incidentes y de transmisión se colectaron en un detector de germanio hiperpuro, acoplado a su instrumentación nuclear estándar. En los espectros de transmisión se observó un decrecimiento agudo de la intensidad correspondiente a la energía del borde K. Los efectos de interacciones múltiples del haz fotónico en las láminas blanco se corrigieron a través de una curva de calibración calculada mediante simulaciones Monte Carlo (MCNPX 2.6). Con vistas a garantizar la mejor precisión en la determinación de la sección eficaz para la energía del borde K, los datos obtenidos se ajustaron según dos comportamientos funcionales en esta región: una sigmoide y una ley empírica del tipo  $\sigma = (A/E)^n$ . Este último método se introdujo en el trabajo y permite minimizar los efectos resolutivos. Los resultados obtenidos se compararon con valores teóricos y experimentales, mostrando mayor concordancia cuando se emplean blancos finos. Se reporta, por primera vez, la sección eficaz de fotoefecto en el borde K del platino (Pt).

**Palabras clave:** radiación de frenado, efecto fotoeléctrico, secciones eficaces, método de Monte Carlo, instrumentos de medida

## Introduction

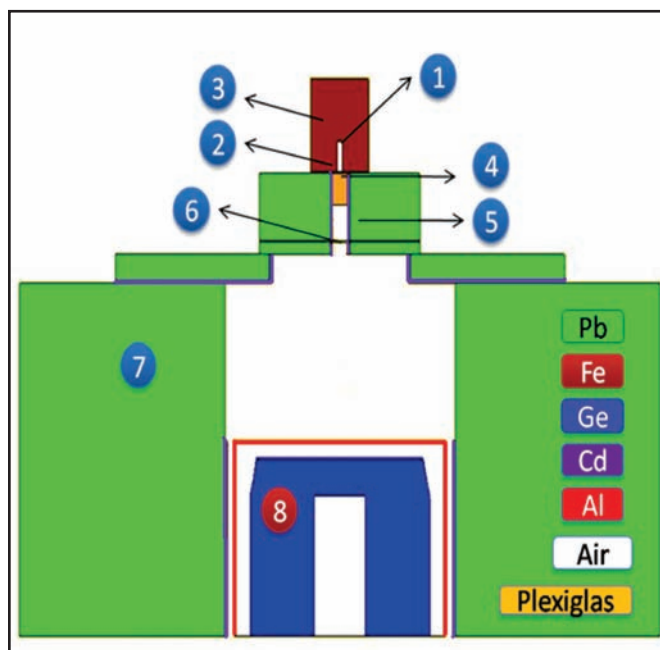
The interaction of X-ray with matter has been extensively studied for several years owing to its application in medical physics, radiation biology, solids state physics and elemental analysis [1-3]. The interaction cross section and other related atomic parameters should be known accurately to achieve, for example, better estimations of deposited doses or lower uncertainties in absolute or semi absolute analytical X-ray Fluorescence Analysis methods. In this direction, numerous researchers have used diverse theoretical models to compile the photon cross sections and created software and databases like XCOM [4-9] for elements and compounds in the energy region from 1 keV to 100 GeV. In the low-energy region ( $E < 100$  keV), the photoelectric effect (PE) is predominant.

The most precise experimental values of K-shell PE cross sections have been obtained for low and medium Z elements with the use of synchrotron radiation [10]. Only using modern synchrotrons the measurements can be extended to high-Z elements. However, alternative methods are normally used adopting two geometrical configurations: the broad- and the narrow-beam configurations. In the first one, the intensity of the K-X ray photons emitted from the target is measured when it is excited by a monoenergetic beam of gamma source [11]. The PE CS can be determined after know the K shell fluorescence cross section, the theoretical values of fluorescence yield and the jump ratio. In the narrow beam configuration, the intensity of the transmitted photons through the target is measured at energies below and above the K edge [12]. Both methods involve the selection of a K-edge value to measure the K shell PE cross sections.

In the present work, a method described by Nayak and Badiger [13,14] was used. A new method that reduces the resolution effects and allows to obtain more accurate results was also introduced. MC simulations were carried out to design and calibrate the experimental setup. The K-shell photoelectric cross section for Dy, Ta and Au as well as the K-edge energies are measured and compared with previous data. These experimental results for Pt are reported for the first time these experimental results for Pt.

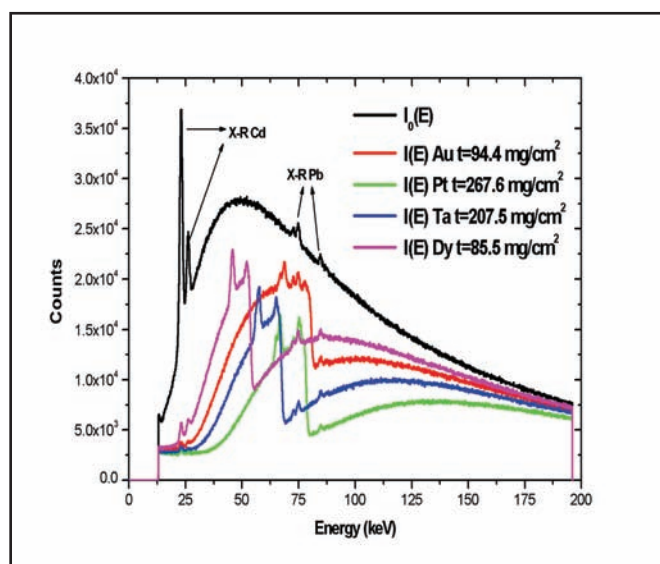
## Materials and Methods

In the experimental arrangement sketched in Figure 1, the  $\beta$  particles from a  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  source (60  $\mu\text{Ci}$ ), shielded by a Fe holder, hit the Ni radiator (Goodfellow foil, 44.5  $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) generating Bremsstrahlung photons. This radiation, collimated by a Pb-Cd cylinder with an internal diameter of 0.6 cm, strikes the pure elemental targets of Dy ( $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ), Ta (207.5  $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ), Pt (267.6  $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) or Au (94.4  $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ). A Plexiglas cylinder (thickness 1.0 cm) was placed behind the radiator to absorb the remaining electrons.



**Figure 1.** Sketch of the experimental setup showing the location of the  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  source (1), Ni radiator (2), source Fe holder (3), electron absorber (4), Pb-Cd collimator (5), foil target (6), Lateral Pb-Cd shielding (7) and HPGe detector (8)

A HPGe n-type detector (FWHM = 1.38 keV at 88 keV  $^{109}\text{Cd}$  line) collected the photon spectra  $I_0$  and  $I_i$  without and with the studied targets, respectively. The spectrometer parameters were fixed to measure the energy range of 20-190 keV and to assure a channel bin of 0.1 keV. The whole spectrums were recorded during a period of 11 h (Figure 2). For the transmitted spectra it is noticeable a sudden decrease in the photon intensity due to PE absorption at K-edge energy. Furthermore are visible the characteristic X rays of each target element are visible, as well as the Cd and Pb  $K_{\alpha}$  and  $K_{\beta}$  lines, constituent materials of the shield and collimation systems.



**Figure 2.** Spectra collected without ( $I_0(E)$ ) and with the targets ( $I_i(E)$ )

The photon intensity  $I_0$  at the i-channel and the intensity of the transmitted photons  $I_i$  at the same



channel were associated with the total cross section  $\sigma^i$  at the energy  $E^i$  by equation (1), where  $t$  and  $A$  are the target thickness and atomic mass, respectively, and  $N_0$  is the Avogadro number.

$$\sigma^i(E^i) = \frac{A}{N_0 t} \ln \left( \frac{I_0^i}{I^i} \right) \quad (1)$$

A parallel beam, as rigorously is required to apply the Eq. 1, is not fulfilled by our experimental arrangement. In this extent, a recalibration procedure was carried out with Monte Carlo simulations. The experimental setup details (dimensions, materials and configuration) were specified in the MCNPX input file, and two primary sources of photon beams, either parallel or with similar features to the real one, are studied. The ratio  $P(E)$  between the cross sections  $\sigma_{par}^{MC}(E)$  and  $\sigma_{real}^{MC}(E)$ , calculated for both beams, was used as a correction parameter:

$$P(E) = \frac{\sigma_{par}^{MC}(E)}{\sigma_{real}^{MC}(E)} \quad (2)$$

Several elements (W, Re, Ir, Pb and Bi) were used to simulate the measurement geometry for thickness similar to Dy and Au foils and to Ta and Pt foils, as detailed in Figure 3. Material independent growing behavior was observed and a straight line was fitted for the  $P(E)$  in all cases. From these results Eq. (3) or Eq (4), were assumed as correction parameters corresponding to the Tungsten target simulations, which shows the best reduced chi square ( $\chi_v^2$ ) statistic (0.88 and 0.92 with  $\nu = 58$  and  $\nu = 64$  degrees of freedom respectively). Both fit pass the goodness  $\chi_v^2$  test with a coverage factor  $k = 2$ . The relative uncertainty in the fitted parameters was below 1.5% in all cases.

$$P_1(E) = 1.0384 + 2.19 \cdot 10^{-3} E \quad 86 \leq t \leq 100 \text{ mg/cm}^2 \quad (3)$$

$$P_2(E) = 1.0541 + 3.62 \cdot 10^{-3} E \quad 205 \leq t \leq 264 \text{ mg/cm}^2 \quad (4)$$

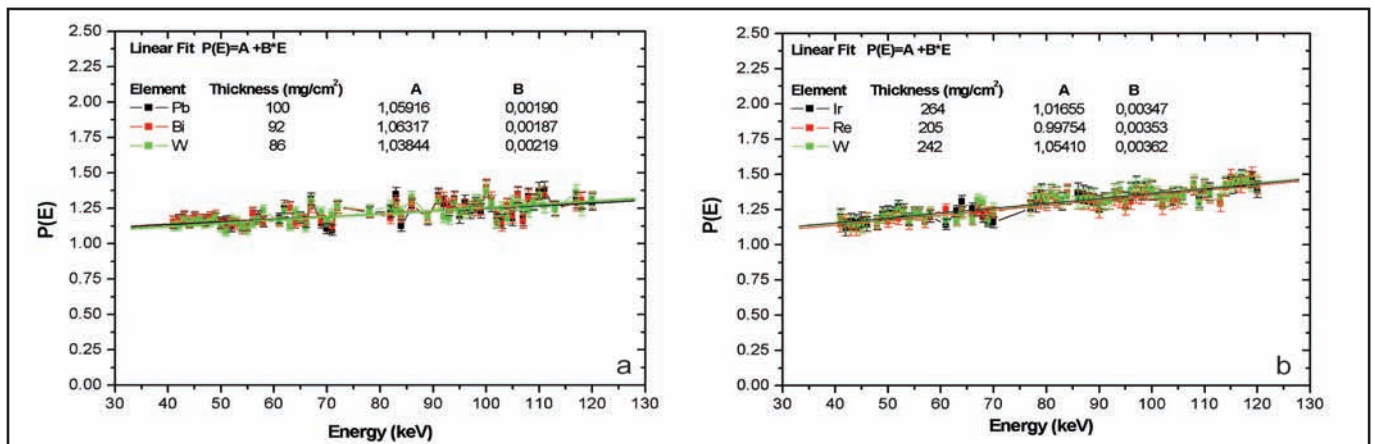


Figure 3. Ratio between the cross sections calculated with MCNPX using a parallel and “real” photon beam. Thickness interval: (a) –  $86 \leq t \leq 100 \text{ mg.cm}^{-2}$ , (b) –  $205 \leq t \leq 264 \text{ mg.cm}^{-2}$

Finally, the corrected experimental cross section (Figure 4) was calculated as:

$$\sigma_c^i(E^i) = P_{1,2}(E^i) \sigma^i(E^i) \quad (5)$$

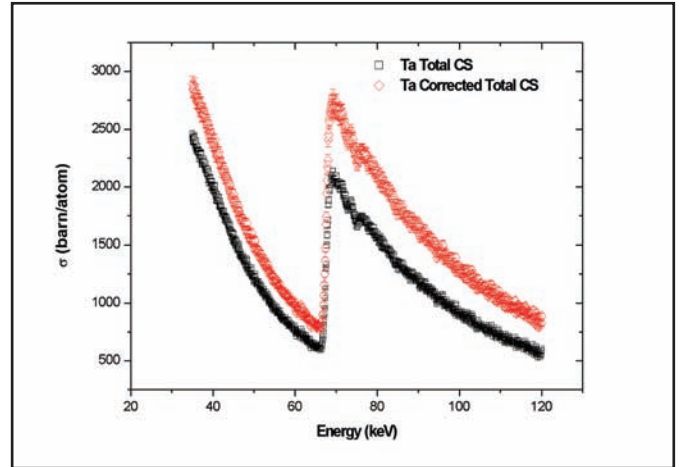
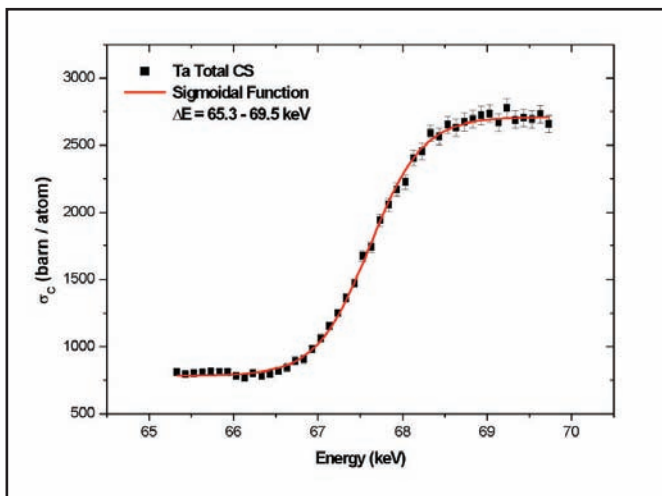


Figure 4. Total PE cross section directly measured and corrected for Ta target as function of photon energy

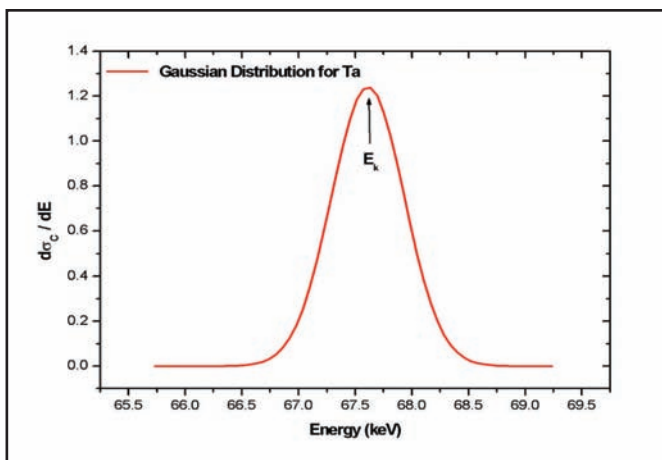
In order to find the cross section below ( $\tau_-$ ) and above ( $\tau_+$ ) the edge and also to determine the precise value of the K-shell binding energy  $E_k$ , two methods were used. The first one takes into account the constant behavior for both branches of the cross section, observed around the K- edge (Figure 5). Then, the experimental points were fitted to a sigmoidal function given by the Eq.6 in a range  $\Delta E \approx 4 \text{ keV}$  [13,14].

$$\sigma(E) = \frac{\tau_+ - \tau_-}{1 + \exp\left(\frac{E - E_k}{dE}\right)} + \tau_- \quad (6)$$

The difference between the  $\tau_+$  and  $\tau_-$  fitted values were considered as the experimental K shell PE cross section. Also, the first derivate of this function gives a Gaussian distribution (Figure 6), whose maximum corresponds to the  $E_k$  value (inflection point of the sigmoidal function). The  $E_k$  value was identified as the energy of the K-absorption edge.



**Figure 5.** Total PE cross section for Ta target around the K-edge and fitted sigmoidal function

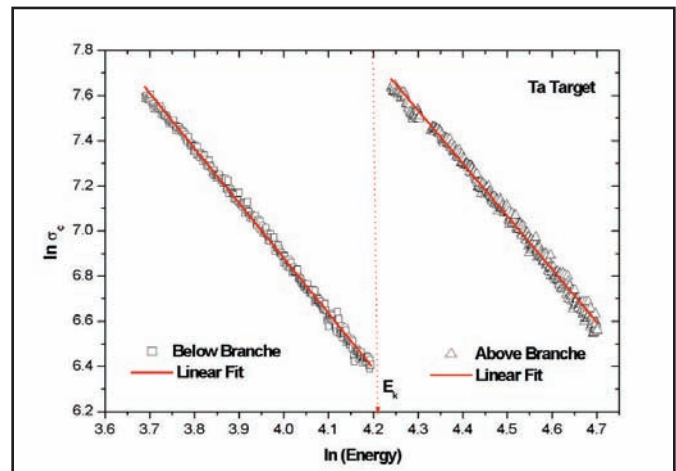


**Figure 6.** First derivate of the fitted sigmoidal function for Ta

The sudden cross section increase of the PE in the K-edge is smoothed due to the limited detector resolution, which leaves to underestimate the PE cross section data. A better energy resolution entails a sharpness measured edge, and then a higher PE cross section value was calculated by the subtraction of the cross section branches. Therefore, the application of this method is restricted by the detector resolution. An alternative procedure, consisting into fitting both cross section branches to an empirical law like Eq. 7 was carried out [15]. The parameters  $B$  and  $n$  were determined using the logarithmic regression given by Eq. 8. The K shell PE cross section was determined evaluating at the  $E_k$  energy (obtained by the first method) the empirical laws in both branches (Figure 7).

$$\sigma(E) = \left(\frac{B}{E}\right)^n \quad (7)$$

$$\ln(\sigma) = B' - n \ln(E) \quad (8)$$



**Figure 7.** Below and above branches linear fitted function for out of K-edge region

## Results and Discussion

The measured K-edge energies are shown in Table 1. A systematic difference ( $\sim 200$  eV) is observed in all cases, except for Au, where the closest results to the compared data are achieved. These discrepancies are mainly conditioned by the detector resolution. Some  $K_\beta$  characteristics X-rays emitted by the atom targets are detected in the energy region corresponding to the steep fall. Therefore, a smooth increase is observed for the cross section at the edge zone ( $\Delta E \sim 2$  keV) and the  $E_k$  value could be overestimated.

**Table 1.** Measured K-edge energies and comparison with reported theoretical data

CRM	Method	
	Sigmoidal Fit	Other Reports
Dy	$53.914 \pm 0.004$	53.790 [4] 53.790 [7] 53.789 [12]
Ta	$67.608 \pm 0.003$	67.420 [7] 67.416 [17] 57.514 [13]
Pt	$78.609 \pm 0.003$	78.390 [4] 78.390 [7] 78.395 [17]
Au	$80.751 \pm 0.004$	80.720 [7] 80.725 [17] 80.780 [13]

On the other hand, the use of a continuous Bremsstrahlung photon spectra and the fact of fitting the experimental points to a sigmoidal function, makes feasible to report the K-shell binding energy with an accuracy of less than  $\pm 10$  eV.

The PE cross section values obtained by using the two methods earlier described are summarized in Table 2. Discrepancies within 10-20% are observed between them. The Sigmoidal Fit method underestimates the PE cross sections, similarly to the K-shell binding energy determination, while the introduced Empirical Law Fit method shows a better agreement with the previously data reported. The comparison with theoretical data reported by Berger [7] show deviations below 5% for the thinner foils (Dy, Au).

**Table 2.** Measured photoelectric cross sections (in barn) and comparison with reported data

Element	Sigmoidal Fit	Empirical Law Fit	Other reports	Discrepancy (%)	
				Sigmoidal Fit	Empirical Law Fit
Dy	3178 ± 18	3517 ± 12	3620 [12]	-12	-3
			3580 [7]	-11	-2
			4059 [4]	-21	-13
Ta	1988 ± 27	2436 ± 34	2747 [7]	-28	-11
			2782 [4]	-29	-12
			2612[13]	-24-	-7
			2465 [16]	-19	-1
Pt	1811 ± 18	2094 ± 21	2326 [7]	-22	-10
			2549 [4]	-29	-18
Au	1998 ± 25	2208 ± 24	2278 [7]	-12	-3
			2270 [4]	-12	-3
			1830 [13]	9	20

## Conclusions

An experimental arrangement was designed for the determination of photoelectric cross section and the K-edge energy. In order to consider the multiple scattering effects on the target, a correction factor for the measurements was introduced by means of Monte Carlo simulations. The photoeffect cross section at the K-edge energy for Pt is reported for the first time.

The comparison between the obtained photoeffect cross sections for Dy, Ta and Au and worldwide reported data shows that: 1) the sigmoidal fit method is not recommended as it is strongly dependent on the detector energy resolution, (it is not possible a correct characterization of the K-edge zone); 2) the introduced Empirical Law method achieves better results for the same experimental conditions; 3) the best agreement was reached for the thinner foils: Dy and Au, where multiple scattering effects are negligible. Then, the results can be improved by the use of targets with thickness bellow 10 mg/cm<sup>2</sup> and the Empirical Law method.

## References

- [1] HUBBELL JH. Review and history of photon cross section calculation. *Phys Med Bio.* 2006; 51(13): 245-262.
- [2] HUBBELL JH. Review of photon interaction cross section data in the medical and biological context. *Phys Med Biol.* 1999; 44(1): 1-22.
- [3] GERWARD L. X-ray attenuation coefficients: Current state of knowledge and availability. *Radiat Phys Chem.* 1992; 41(4-5): 783-789.
- [4] VEIGELE WJ. Photon Cross Section from 0.1 keV to 1 MeV for Elements Z=1 to Z=94. *Atomic. Data Tables.* 1973; 5: 51-111.
- [5] SCOFIELD JH. Theoretical photoionization cross sections from 1 keV to 1500 keV. UCRL-51326. California: Lawrence Livermore Laboratory, 1973.
- [6] CHANTLER CT. Theoretical Form Factor, Attenuation and Scattering Tabulation for Z=1-92 from E=1-10 eV to E=0.4-1.0 MeV. *J Phys Chem Ref Data.* 1995; 24: 71-94.
- [7] BERGER MJ, HUBBELL JH. XCOM: Photon Cross Sections on a Personal Computer. NBSIR 87-3597. Gaithersburg: National Bureau of Standards (former name of NIST), 1987.
- [8] BERGER MJ, HUBBELL JH. XCOM: Photon Cross Sections Database, Web Version 1.2. Gaithersburg MD 20899, USA: National Institute of Standards and Technology. 1999. Available <http://physics.nist.gov/xcom>. Originally published as NBSIR 87-3597. XCOM: Photon Cross Sections on a Personal Computer.
- [9] GERWARD L. X-ray absorption in matter. *Reengineering XCOM.* *Rad Phys Chem.* 2001; 60: 23-45.
- [10] KARABULUT A, GUROL A, BUDAK G, POLAT R. Measurements of L subshell and total L shell photoeffect cross-sections for some elements in 72 ≤ Z ≤ 92. *Eur Phys J. D.* 2002; 21(1): 57-61.
- [11] CHANTLER CT, TRAN CQ, BARNEA Z, et. al. Measurement of x-ray mass attenuation coefficient of copper using 8.85 – 20 keV synchrotron radiation. *Phys Rev A.* 2001; 64(6): 062506-062513.
- [12] MALLIKARJUNA ML, APPAJI GORDA SB, GOWDA R, UMESH TK. Studies on photon interaction around the K-edge of some rare-earth elements. *Rad Phys Chem.* 2002; 65(3): 217-223.
- [13] NAYAK SV, BADIGER NM. Measurement of K-shell photoelectric absorption parameters of Hf, Ta, Au, and Pb by an alternative method using a weak β-particle source. *Phys Rev A.* 2006; 73(3): 032707.
- [14] NAYAK SV, BADIGER NM. A novel method for measuring K-shell photoelectric parameters of high-Z elements. *J Phys B.* 2006; 39(12): 2893.
- [15] JAMES RW. *The Optical Principles of Diffraction of X-rays.* London: Bell & Sons, 1948.
- [16] HOSUR SB, BADIGER NM, NAIK LR. Determination of K-shell oscillator strengths and the imaginary form factors of atoms using a weak beta source. *J Phys B.* 2008; 41(9): 095003.
- [17] SANCHEZ DEL RIO M, BRUNETTI A, GOLOSIO B, et. al. XRAYLIB tables (X-ray fluorescence cross-section). Calculation using XRAYLIB 2.3. European Synchrotron Radiation Facility and University of Sassari, 2003.

Recibido: 30 de abril de 2013

Aceptado: 24 de octubre de 2013

# Niveles de radionúclidos naturales y metales pesados en suelos urbanos de la ciudad de Cienfuegos, Cuba

Oscar Díaz Rizo<sup>1</sup>, Eduardo Quintana Miranda<sup>1</sup>, Carlos M. Alonso Hernández<sup>2</sup>, Héctor Cartas Águila<sup>2</sup>,  
Katia D'Alessandro Rodríguez<sup>1</sup>, Neivy López Pino<sup>1</sup>, Juana O. Arado López<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC)

Ave. Salvador Allende y Luaces, La Habana, Cuba

<sup>2</sup>Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, AP 5. Ciudad Nuclear, Cienfuegos, Cuba

odrizo@instec.cu

## Resumen

Se determinan las concentraciones de metales pesados y radionúclidos naturales en suelos superficiales (0-10 cm) de la ciudad de Cienfuegos, Cuba, mediante las técnicas de fluorescencia de rayos X y espectrometría gamma respectivamente. Los resultados de la medición de metales pesados mostraron que las concentraciones promedio de Ni, Cu, Zn y Pb en los suelos estudiados son superiores a los valores correspondientes de fondo. El cálculo del Índice de Polución Integral permitió determinar que estos suelos presentan una contaminación severa por metales pesados. Las concentraciones de <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th y <sup>40</sup>K en los suelos urbanos de Cienfuegos se encuentran en los intervalos de 8.3-32.7, 3.7-10.7 y 129-356 Bq.kg<sup>-1</sup>, con promedios de 22.6, 6.3 y 272 Bq.kg<sup>-1</sup> respectivamente, valores que son similares a los reportados para la zona Centro-Sur de Cuba. La tasa de dosis absorbida en aire y la dosis equivalente efectiva anual que recibe la población local producto de la radiación natural es inferior a los límites establecidos internacionalmente. Se determinaron correlaciones positivas significativas de <sup>232</sup>Th-Cu y <sup>232</sup>Th-Zn, indicando la posible presencia de una fuente de contaminación por estos elementos en la zona.

**Palabras clave:** metales pesados, Cuba, áreas urbanas, suelos, radiactividad natural, control de la contaminación

## Heavy metal and natural radionuclide levels in urban soils from Cienfuegos city, Cuba

### Abstract

Concentrations of heavy metals and natural radionuclides in topsoil (0-10cm) from Cienfuegos city, Cuba, were determined by using X-ray fluorescence analysis and gamma ray spectrometry, respectively. The measured results of heavy metals show that the mean concentrations of Ni, Cu, Zn and Pb in the studied soil samples are higher than their corresponding background values. The calculated results of integrated pollution index of heavy metals indicate that the studied soils present severely heavy metal contamination. The concentrations of <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K in the studied soil samples range from 8.3 to 32.7, 3.7 to 10.7 and 129 to 356 Bq.kg<sup>-1</sup> with an average of 22.6, 6.3 and 272 Bq.kg<sup>-1</sup>, respectively, which are similar than the average concentrations reported for South-central Cuban soils. The air absorbed dose rate and the annual effective dose equivalent received by the local residents due to the natural radionuclides in soil are lesser than the worldwide established limits. A significantly positive <sup>232</sup>Th-Cu and <sup>232</sup>Th-Zn correlations were determined, indicating the possible existence of a source of pollution due to the presence of these elements in the area

**Key words:** heavy metals, Cuba, urban areas, soils, natural radioactivity, pollution control

## Introducción

El estudio del contenido de metales pesados y el riesgo que estos inducen es un aspecto importante dentro del manejo ambiental de un ecosistema, así

como en la protección de la salud de la población [1-3]. El origen de la composición inorgánica de los suelos puede ser tanto natural como antropogénico. Es conocido que elementos trazas como el zinc, cromo, cobalto y hierro son beneficiosos para las plantas y los

seres vivos, pero, a partir de determinados valores de concentración, pueden inducir efectos tóxicos. Otros elementos como el plomo, cadmio, mercurio, etc., son bien conocidos por sus efectos negativos en la salud humana, en particular en la salud de los niños, producto de su elevado poder de absorción de metales pesados, pues son capaces de inducir serias afectaciones a los sistemas nervioso central y urinario, así como favorecer el desarrollo de muchas enfermedades [4-7].

Por otra parte, investigaciones previas han demostrado la necesidad de profundizar en el estudio de los denominados “materiales radiactivos de origen natural” (NORM) [8]. Es bien conocido que la radiactividad natural y la exposición externa asociada a la misma, dependen fundamentalmente de las condiciones geológicas del área de estudio, y aparecen a diferentes niveles, en dependencia de la composición litológica del área de interés y de la composición de la roca que originó ese suelo. Por otra parte, se ha comprobado que los niveles de radiactividad natural en los suelos urbanos se han visto afectados por las emisiones de diferentes actividades humanas. Por ejemplo, la industria nuclear y los ensayos de armamento nuclear [8-9], la producción y refinación de petróleo [10-12], la producción de cemento [13], etc.

Tras el triunfo de la Revolución, la ciudad de Cienfuegos ha experimentando un proceso de crecimiento y urbanización, acompañado por el fomento de una gran actividad industrial (termoeléctricas, refinerías de crudo, plantas de cemento y fertilizantes, etc.), convirtiéndola en una de las ciudades más industrializadas del país. Hoy día, con nuevas inversiones que se vienen realizando, Cienfuegos está avocado a convertirse en el polo petroquímico más importante del país. Por esta razón, se han realizado diversos estudios para evaluar el impacto de la urbanización y la industria a los ecosistemas próximos a la ciudad [14-16]. Por otra parte, la designación de Cienfuegos como posible emplazamiento de la CEN de Juraguá en los años 80 del siglo xx, favoreció la realización de estudios radiológicos del medio ambiente aledaño, fundamentalmente de sus suelos [17-18] y sedimentos de la bahía [19]. Ya más reciente, se realizó un estudio radiológico amplio de los suelos agrícolas de la zona Centro-Sur de Cuba, que incluyó a la provincia de Cienfuegos [20]. A pesar de ello, no existen antecedentes de estudio radiológico y de concentración de metales pesados en los suelos urbanos de la ciudad de Cienfuegos. En tal sentido, el objetivo fundamental de la presente investigación fue determinar los niveles de metales pesados y radionúclidos naturales presentes en los suelos urbanos de la ciudad, atendiendo a su posible impacto a la salud de la población.

## Materiales y métodos

Se colectaron suelos superficiales (0-10 cm) en 7 estaciones del área metropolitana de la ciudad de

Cienfuegos (ver Figura), tomadas todas en una misma jornada. Con el fin de evaluar las concentraciones del fondo del área, adicionalmente se tomaron muestras a 10-20 cm de profundidad en las estaciones 1, 2 y 3, ubicadas en la periferia del área de estudio. En todos los casos se tomaron muestras compuestas, consistentes en cuatro submuestras (aproximadamente 1×1 m<sup>2</sup>), empleando para ello una espátula plástica y bolsas de nylon para su resguardo. Ya en el laboratorio, todas las muestras fueron secadas a 50 °C y sometidas a un proceso de remoción manual de piezas de metal y de plástico, así como de residuos orgánicos. Posteriormente fueron maceradas en un mortero de agate, tamizadas a 125 μm y nuevamente secadas a 60 °C hasta peso constante.



Localización de las estaciones estudiadas en la ciudad de Cienfuegos

Las concentraciones de los metales pesados se estimaron mediante la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX), utilizando como patrones los Materiales de Referencia Certificada (MRC) IAEA-SL-1 “Lake Sediment”, IAEA-Soil-5, IAEA-356 “Polluted Marine Sediment”, BCR-2 “Basalt Columbia River”, SGR-1 “Green River Shale” y BCSS-1. Tanto las muestras de suelos como los MRC fueron mezclados con celulosa de calidad analítica (en proporción 4:1) y prensadas a 15 T en forma de tabletas de 25 mm de diámetro y 4-5 mm de espesor. Todas las tabletas fueron medidas en un detector de Si (Li) Canberra (150 eV de resolución energética a 5.9 keV, con ventana de Be de 12.0 μm de espesor) acoplado a un analizador multicanal. Como fuente de excitación se empleó una fuente de <sup>238</sup>Pu (1.1 GBq) de geometría de anillo. Todos los espectros de rayos X se procesaron mediante el código WinAxil [21]. Los límites de detección se determinaron de acuerdo con Padilla et al. [22] (en unidades de concentración) como  $L_D = 3 \sigma / mt$ , donde m es la sensibilidad del espectrómetro en conteos.seg-1 por unidad de concentración,  $\sigma$  es la desviación estándar del área de fondo en la zona de la línea espectral correspondiente a 1.17 veces el ancho a la semialtura y t es el tiempo de medición (6 horas).

La precisión fue evaluada siguiendo el criterio SR propuesto por McFarrell [23] en las normas ISO-9000:

$$SR = \frac{|C_x - C_w| + 2\sigma}{C_w} \cdot 100\%$$

donde  $C_x$  es el valor experimental,  $C_w$  el valor certificado y  $\sigma$  la desviación estándar de  $C_x$ . Sobre la base de este criterio, la similitud entre el valor certificado y el resultado analítico determinado se divide en tres categorías:  $SR \leq 25\%$  = excelente;  $25 < SR \leq 50\%$  = aceptable,  $SR > 50\%$  = inaceptable. El estudio de cinco réplicas del MRC IAEA Soil-7 se presenta en la Tabla 1. Como se aprecia, todos los metales (Co, Ni, Cu, Zn y Pb) determinados por FRX son "excelentes" ( $SR \leq 25\%$ ) y los resultados analíticos obtenidos muestran una muy buena correlación ( $R = 0.999$ ) entre los valores medidos y los certificados.

**Tabla 1.** Análisis por FRX del MRC Soil-7\*, valores SR y límites de detección

Metal	Valor certificado	Valor medido	SR (%)	$L_D$ (mg.kg <sup>-1</sup> )
Ni	26	22 ± 4	16	7
Cu	11.0	10.3 ± 0.6	15	6
Zn	104	99 ± 5	12	5
Pb	60	60 ± 3	12	4

\*Promedio ± DE, n = 5, en mg.kg<sup>-1</sup>.

La concentración de los radionúclidos naturales <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th y <sup>40</sup>K se determinaron en submuestras de los suelos de interés, empleando para ello un sistema de espectrometría gamma de bajo fondo, compuesto por un detector coaxial intrínseco de germanio hiperpuro, blindado en un castillete de plomo y acoplado a un analizador multicanal. Antes de las mediciones, cada muestra fue sellada durante 28 días con vista a asegurar el establecimiento del equilibrio secular entre los núcleos de <sup>222</sup>Rn y <sup>226</sup>Ra. La actividad del <sup>226</sup>Ra se determinó mediante la medición de los cuantos gamma de energías 295, 352 y 609 keV de sus hijos <sup>214</sup>Pb y <sup>214</sup>Bi. El contenido de <sup>232</sup>Th se determinó mediante las líneas 238, 583 y 911 keV correspondientes a sus hijos <sup>212</sup>Pb, <sup>208</sup>Tl y <sup>228</sup>Ac respectivamente. La calibración en eficiencia se realizó mediante el empleo del patrón Standard U-Ore (CANMET) y de la solución certificada QCY44 de la Amershand. La calidad de las mediciones se verificó mediante el estudio de diferentes MRC del OIEA y del *National Bureau of Standards* de los EE.UU. Las incertidumbres de las actividades determinadas se calcularon a partir del error de las mediciones a nivel de una desviación estándar.

## Resultados y Discusión

Los resultados estadísticos descriptivos de las concentraciones de Ni, Cu, Zn y Pb en los suelos superficiales (0-10 cm) de la ciudad de Cienfuegos, así como los valores promedios de concentración de fondo (10-20 cm) se presentan en la Tabla 2. Como

se observa las concentraciones de Ni, Cu, Zn y Pb se encuentran en un intervalo de 24-115, 5-213, 33-726 y 4-893 mg.kg<sup>-1</sup>, con valores promedios de 47, 82, 277 y 225 mg.kg<sup>-1</sup> respectivamente. En todos los casos, los promedios geométricos son inferiores a los aritméticos. Los promedios aritméticos, promedios geométricos y medianas de las concentraciones determinadas en los suelos superficiales son cercanos (caso del Ni) o superiores (Cu, Zn y Pb) que sus correspondientes concentraciones de fondo. La razón entre los promedios aritméticos de las concentraciones y sus respectivas concentraciones de fondo, descienden como  $Pb > Zn > Cu > Ni$ . Las máximas concentraciones de Ni, Cu, Zn y Pb superan a las concentraciones promedio de fondo en 3.3, 8.2, 15.6 y 99.8 veces respectivamente. Las desviaciones estándares y coeficientes de variación pueden reflejar el grado de dispersión de la distribución de metales pesados y el efecto que induce la actividad humana en las concentraciones de los metales pesados en un área determinada [24]. Como se observa en la Tabla 2, los coeficientes de variación de los metales determinados son bastante elevados, fundamentalmente para Pb, Zn y Cu, los cuales son de 139, 87 y 87 respectivamente. Los valores máximos de concentración, los coeficientes de variación y las desviaciones estándares, respecto a las concentraciones de fondo determinadas, muestran que los contenidos de Cu, Zn y Pb de los suelos superficiales de la ciudad de Cienfuegos, han sido intensamente afectados producto de la actividad antropogénica, como podrían ser las emisiones industriales.

**Tabla 2.** Concentraciones de metales pesados en los suelos de Cienfuegos

Elemento	Ni	Cu	Zn	Pb
Concentración mínima*	24	5	33	4
Concentración máxima*	115	213	723	893
Promedio aritmético*	47	82	277	225
Desviación estándar*	31	72	242	313
Mediana*	38	75	271	89
Promedio geométrico*	41	49	178	77
Valores de sesgo	2.1	1.5	1.6	1.9
Valores de curtosis	5.7	1.0	1.0	4.5
Coefficiente de variación (%)	66	87	87	139
Concentración de fondo*	35	26	46	9

\* en mg.kg<sup>-1</sup>, peso seco

Los valores de curtosis para todos los metales pesados estudiados son superiores a cero, lo que indica que las distribuciones de estos metales pesados son más empinadas que la normal. Los valores de sesgo son superiores a la unidad, lo que muestra que estos metales se inclinan hacia las menores concentraciones [25].

Con el fin de estudiar el grado de contaminación de los suelos y estimar el posible impacto a la salud humana, se calculó el índice de polución integral (IPI) [26] para cada una de las estaciones en estudio. El IPI se define como el valor medio de todos los índices de

polución (IP) de los metales pesados determinados:

$$IPI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n IPI_i$$

donde n –es el número de metales considerados en el ensayo e IP se define como la razón entre la concentración del metal (Ci) en el suelo en estudio, respecto al promedio geométrico de la concentración de fondo del metal correspondiente (CFi):

$$IP = C_i / CF_i$$

Como concentraciones de fondo (en mg.kg<sup>-1</sup>) se utilizaron los resultados de la medición de los suelos a 10-20 cm de profundidad en las estaciones 1, 2 y 3. Atendiendo a su valor de IPI, los suelos superficiales se clasificaron como de bajo grado de contaminación (IPI ≤ 1.0), de mediano grado de contaminación (1.0 < IPI ≤ 2.0) o de alto grado de contaminación (IPI > 2.0).

Como se aprecia (Tabla 3) los suelos superficiales de la zona metropolitana de la ciudad de Cienfuegos tienen un elevado grado de contaminación, con baja contaminación en las áreas periféricas de la misma. La mayor incidencia en el grado de contaminación lo aportan los contenidos de Pb, Zn y Cu, pues el contenido de Ni solo aporta en las áreas aledañas a la estación 5 (IP<sub>Ni</sub> = 2.6), área, que como evidencia su IPI (IPI<sub>EST.5</sub> = 25.7) es la zona de mayor contaminación de la ciudad. En esa área se encontraba la antigua Estación de Carga Comercial por Ferrocarril de la ciudad, así como dos plantas termoeléctricas (de fabricación checa y japonesa) y se localiza la Fábrica de Cemento. Las estaciones 6 y 7 (IPI<sub>EST.6</sub> = 8.1, IPI<sub>EST.7</sub> = 9.4) se encuentran en el centro de la ciudad, donde el tráfico vehicular es mucho más intenso.

Tabla 3. Índice de polución (IP) e índice de polución integral (IPI) de los metales pesados en suelos urbanos de Cienfuegos

Estaciones	IP				IPI	Grado de contaminación
	Ni	Cu	Zn	Pb		
1	1.0	0.6	1.1	1.0	0.9	Bajo
2	0.8	0.2	0.7	0.4	0.5	Bajo
3	0.6	2.9	2.8	5.1	2.9	Alto
4	0.5	2.3	5.8	7.6	4.1	Alto
5	2.6	8.2	15.6	76.6	25.7	Alto
6	1.0	2.9	7.1	21.3	8.1	Alto
7	0.8	5.1	8.7	23.1	9.4	Alto
Promedio	1.0	3.2	6.0	19.3	7.4	
Desv. Est.	0.7	2.7	5.2	26.9	8.8	
Mínimo	0.5	0.2	0.7	0.4	0.5	
Máximo	2.6	8.2	15.6	76.6	25.7	

Los resultados estadísticos descriptivos de las concentraciones de radionúclidos naturales en los suelos superficiales de la ciudad de Cienfuegos se presentan en la Tabla 4. Como se observa las concentraciones de actividad para <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th y <sup>40</sup>K tienen un intervalo

de 8.3-60 Bq.kg<sup>-1</sup> con un promedio de 21.6 Bq.kg<sup>-1</sup> para el <sup>226</sup>Ra, 3.7-11 Bq.kg<sup>-1</sup> con un promedio de 6.8 Bq.kg<sup>-1</sup> para el <sup>232</sup>Th y de 129-356 Bq.kg<sup>-1</sup> con un promedio de 285 Bq.kg<sup>-1</sup> para el <sup>40</sup>K respectivamente. Estas concentraciones promedios son muy similares a las obtenidas para los suelos agrícolas de la región Centro-Sur de Cuba (27 ± 18, 5.7 ± 3.8 y 317 ± 143 Bq.kg<sup>-1</sup> respectivamente [20]). La concentración de <sup>40</sup>K aporta entre el 90 y 92% de la actividad gamma total, lo que indica que la actividad específica del <sup>40</sup>K es el mayor contribuyente a la actividad total de todas las muestras de suelo.

Tabla 4. Concentraciones de radionúclidos naturales en los suelos de Cienfuegos

Radionúclido	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	Total
Concentración mínima*	8.3	3.7	129	141
Concentración máxima*	30	11	3536	395
Promedio aritmético*	21.6	6.8	285	313.4
Desviación estándar*	7.2	2.2	74	83.4
Mediana*	21.0	6.6	301	328.5
Promedio geométrico*	20.2	6.5	273	299.7
Valores de sesgo	-0.2	0.3	-0.8	-0.7
Valores de curtosis	1.3	0.9	4.6	4.8
Coefficiente de variación (%)	33	33	26	26
Concentración de fondo*	24.4	5.2	225	254.6

\* en Bq.kg<sup>-1</sup>, peso seco

Los resultados se evaluaron en términos de radiotoxicidad mediante el indicador conocido como Actividad Radioequivalente (Raeq), el cual se determina mediante la expresión [27]:

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1.43C_{Th} + 0.077C_K$$

donde C<sub>Ra</sub>, C<sub>Th</sub> y C<sub>K</sub> son las concentraciones de actividad de <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th y <sup>40</sup>K en Bq.kg<sup>-1</sup> respectivamente. Los valores de la Tabla 4 indican que Ra<sub>eq</sub> en los suelos superficiales de Cienfuegos se encuentra en el intervalo comprendido entre 23.5 y 72.7 Bq.kg<sup>-1</sup> con un promedio de 53.3 Bq.kg<sup>-1</sup>, valores muy inferiores al límite recomendado de 370 Bq.kg<sup>-1</sup> [8]. Para la evaluación de la exposición externa inducida por la radiación natural, se calculó la tasa de dosis absorbida a 1m sobre el terreno según la expresión [28]:

$$D(nGy.h^{-1}) = 0.462C_{Ra} + 0.604C_{Th} + 0.0417C_K$$

Los valores calculados muestran que la tasa de dosis absorbida en aire se encuentra en el intervalo de 11.4 -35.2 con un valor medio de 26.0 nGy.h<sup>-1</sup>, los cuales son inferiores al valor límite recomendado de 51 nGy.h<sup>-1</sup> [8].

Para estimar la dosis equivalente efectiva anual (E) que reciben los residentes de la localidad producto de la radiación natural presente en el suelo, se utilizó la expresión:

$$E(\text{mSv}\cdot\text{y}^{-1}) = D \times T \times Q \times F_{\text{ocup}} \times 10^{-6}$$

donde D es la tasa de dosis absorbida, T es el tiempo en horas de un año (8760 horas) y  $Q(0.7 \text{ Sv}\cdot\text{Gy}^{-1})$ , y  $F_{\text{ocup}}(0.2)$  son el factor de conversión para dosis absorbida en aire a dosis efectiva en aire y el factor ocupacional propuestos por la UNSCEAR [8] respectivamente. La dosis equivalente efectiva anual resultó de  $0.032 \pm 0.010 \text{ mSv}\cdot\text{y}^{-1}$ , la cual es inferior a la dosis externa promedio anual mundial de  $0.07 \text{ mSv}\cdot\text{y}^{-1}$  [8].

Con vistas a buscar alguna interrelación entre los parámetros obtenidos para los metales pesados y los radionúclidos naturales se realizó la correlación de Pearson (Tabla 5), utilizando como variables las concentraciones de actividad de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$ , la dosis absorbida en aire, las concentraciones de los metales pesados y el índice de polución integral determinados para todas las muestras. Como se aprecia, la tasa de dosis absorbida en aire (D) es significativamente positiva con las concentraciones de  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{226}\text{Ra}$  y sus correspondientes coeficientes de correlación decrecen como  $^{40}\text{K} > ^{226}\text{Ra} > ^{232}\text{Th}$ , indicando que la dosis absorbida en aire está controlada fundamentalmente por las concentraciones de  $^{40}\text{K}$  y  $^{226}\text{Ra}$ . Llama la atención la buena correlación obtenida entre la concentración de  $^{232}\text{Th}$  y el índice de polución integral de los metales pesados (0.70), lo que debe estar dado por las significativas correlaciones obtenidas entre el contenido de  $^{232}\text{Th}$  con las concentraciones de Cu y Zn (0.78 y 0.79 respectivamente). Atendiendo a que la concentración máxima de  $^{232}\text{Th}$  excede en 2 veces la concentración promedio obtenida para el fondo (10-20 cm, ver Tabla 4), esto podría indicar que, en algunas de las estaciones estudiadas, no todo el contenido de  $^{232}\text{Th}$  sería natural, sino que cierta fracción del mismo debe provenir de fuentes que inducen contaminación por Cu y Zn.

**Tabla 5.** Matriz de correlación de Pearson entre las variables determinadas

	$^{40}\text{K}$	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	D	Ni	Cu	Zn	Pb	IPI
$^{40}\text{K}$	1								
$^{232}\text{Th}$	0.64**	1							
$^{226}\text{Ra}$	0.49**	0.13	1						
D	0.90*	0.54**	0.79*	1					
Ni	-0.11	0.27	-0.11	-0.06	1				
Cu	0.29	0.78*	-0.07	0.20	0.46	1			
Zn	0.34	0.79*	-0.10	0.20	0.50**	0.91*	1		
Pb	0.17	0.14	-0.06	0.15	-0.23	0.66**	0.86*	1	
IPI	0.20	0.70**	-0.06	0.17	0.76*	0.88*	0.92*	0.99*	1

Niveles de significación: \* -  $P < 0.01$  y \*\* -  $P < 0.05$ .

Como se aprecia, se obtienen correlaciones significativas ( $P < 0.01$ ) para los pares de metales Cu-Zn (0.91) y Zn-Pb (0.86), así como buenas correlaciones ( $P < 0.05$ ) para los pares Cu-Pb (0.66) y Ni-Zn (0.50), provocando correlaciones significativas de los contenidos de metales con el IPI, las cuales decrecen como  $\text{Pb-IPI} > \text{Zn-IPI} > \text{Cu-IPI} > \text{Ni-IPI}$ . Esto

indica que los contenidos de Pb, Zn y Cu son, de los metales estudiados, los mayores contribuyentes de la contaminación determinada en los suelos superficiales de la zona metropolitana de la ciudad de Cienfuegos. Por otra parte, elevados coeficientes de correlación entre metales pesados indican que estos provienen de las mismas fuentes y que se comportan de manera similar durante su transportación [24, 29].

Los metales Pb, Zn y Cu se consideran “metales urbanos” dado el uso indiscriminado de combustible plomado por muchos años, y que el Cu y el Zn se utilizan ampliamente en diferentes partes y componentes de automóviles, lubricantes, sistemas de frenado, etc. [1]. Por otra parte, es bien conocido que el Cu está presente en diferentes pigmentos que se utilizan en la industria del plástico, el Zn puede estar asociado a la presencia de metales galvanizados, medicamentos y cosméticos, emanaciones de industrias de la construcción, residuos de demoliciones, etc. y el Pb con pinturas basadas en plomo, partes de baterías y de galvanizados. Teniendo en cuenta que en el país no se utiliza gasolina plomada desde finales de los años 90 del siglo pasado, es muy posible que una parte considerable del contenido determinado de Pb esté dado por la acumulación de este metal producto de la contaminación originada en décadas pasadas [30]. Por otra parte, la correlación significativa determinada entre las concentraciones de  $^{232}\text{Th}$  y Cu y Zn, sin que se observara correlación entre el  $^{232}\text{Th}$  y el Pb, indica la posible presencia de otras fuentes de contaminación por Cu y Zn que no están asociadas al empleo de plomo. Por tanto, las emisiones vehiculares pueden ser parte de la contaminación presente en los suelos de la ciudad de Cienfuegos, sumándose a las que se originan en otras actividades industriales que se realizan en esa ciudad (termoeléctricas, refinación de petróleo, fabricación de cemento y fertilizantes, etc.).

## Conclusiones

Los estudios realizados por fluorescencia de rayos X y espectrometría gamma de los suelos urbanos de Cienfuegos permitieron determinar que: 1) presentan una elevada contaminación por Pb, Zn y Cu; 2) tienen concentraciones de radionúclidos naturales similares a las reportadas para la zona Centro-Sur de Cuba; 3) la tasa de dosis absorbida en aire y la dosis equivalente efectiva anual que recibe la población local, producto de la radiación natural de los suelos, son inferiores a los límites establecidos internacionalmente y 4) existen correlaciones significativas entre  $^{232}\text{Th}$ -Cu y  $^{232}\text{Th}$ -Zn, indicando la posible existencia de alguna fuente contaminante de estos elementos en la zona. En tal sentido, se recomienda ampliar el presente estudio, en aras de identificar las posibles fuentes de contaminación por metales pesados que existen en la ciudad, así como identificar la existencia de alguna fuente que sea emisora de  $^{232}\text{Th}$ .



## Referencias bibliográficas

- [1] BIASIOLI M, GR MAN H, KRALJ T, et. al. Potentially toxic elements contamination in urban soils: A comparison of three European cities. *J Environ Qual*. 2007; 36(1): 70-79.
- [2] CHARLESWORTH S, DE MIGUEL E, ORDÓÑEZ A. A review of the distribution of particulate trace elements in urban terrestrial environments and its application to considerations of risk. *Environ Geochem Health*. 2011; 33(2):103-123.
- [3] LUO X, YU S, ZHU Y, LI X. Trace metal contamination in urban soils of China. *Sci Total Environ*. 2012; (421-422): 17-30.
- [4] BREWSTER UC, PERAZELLA MA. A review of chronic lead intoxication: an unrecognized cause of chronic kidney disease. *Am J Med Sci*. 2004; 327(6): 341-347.
- [5] NAVAS-ACIEN A, GUALLAR E, SILBERGELD EK, ROTHENBERG SJ. Lead exposure and cardiovascular disease - A systematic review. *Environ Health Perspect*. 2007; 115(3): 472-482.
- [6] LAIDLAW MAS, FILIPPELLI GM. Resuspension of urban soils as a persistent source of lead poisoning in children: A review and new directions. *Appl Geochem*. 2008; 23(8): 2021-2039.
- [7] MIELKE HW, LAIDLAW MAS, GONZALES C. Lead (Pb) legacy from vehicle traffic in eight California urbanized areas: Continuing influence of lead dust on children's health. *Sci Total Environ*. 2010; 408(19): 3965-3975.
- [8] United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation. New York: United Nations, 2000.
- [9] WALLING DE, HE Q. The global distribution of bomb-derived <sup>137</sup>Cs reference inventories. Final report on IAEA technical contract 10361/RO-R1. University of Exeter, 2000.
- [10] AL-SALEH FS, AL-HARSHAN GA. Measurements of radiation level in petroleum products and wastes in Riyadh City Refinery. *J Environ Radioact*. 2008; 99(7): 1026-1031.
- [11] GAZINEU MHP, HAZIN CA. Radium and potassium-40 in solid wastes from the oil industry. *Appl. Rad. Isot*. 2008; 66(1): 90-94.
- [12] HAMLAT MS, DJEFFAL S, KADI H. Assessment of radiation exposures from naturally occurring radioactive materials in the oil and gas industry. *Appl Rad Isot*. 2001; 55(1): 141-146.
- [13] ADUKPO OK, AHIAMADJIE H, TANDOH JB, et. al. Assessment of NORM at diamond cement factory and its effects in the environment. *J Radioanal Nucl Chem*. 2011; 287(7): 87-92.
- [14] ALONSO HERNÁNDEZ CM, PEREZ SANTANA S, MUÑOZ CARAVACA A, et. al. Historical trends in heavy metal pollution in the sediments of Cienfuegos Bay (Cuba), defined by <sup>210</sup>Pb and <sup>137</sup>Cs geochronology. *Nucleus*. 2005; (37): 20-26.
- [15] TOLOSA I, MESA ALBERNAS M, ALONSO HERNÁNDEZ CM. Inputs and source of hydrocarbons in sediments from Cienfuegos bay, Cuba. *Mar Pollut Bull*. 2009; 58(11): 1624-1634.
- [16] TOLOSA I, MESA ALBERNAS M, ALONSO HERNÁNDEZ CM. Organochlorine contamination (PCBs, DDTs, HCB, HCHs) in sediments from Cienfuegos bay, Cuba. *Mar Pollut Bull*. 2010; 60(9): 1619-1624.
- [17] JOVA L, DE LA CRUZ O, TOMÁS J, ÁVILA R. Estudios del fondo radioactivo ambiental en los alrededores de las futuras instalaciones nucleares cubanas. *Nucleus*. 1992; (13): 25-31.
- [18] JOVA L, PRENDES M, ÁVILA R, et. al. Estudio comparativo de las tasas de dosis gamma ambiental en la República de Cuba. *Nucleus*. 1993; (14): 4-17.
- [19] ALONSO HERNÁNDEZ CM, CARTAS ÁGUILA H, DÍAZ ASENCIO M, et. al. Atmospheric deposition of <sup>137</sup>Cs between 1994 and 2002 at Cienfuegos, Cuba. *J Environ Radioact*. 2006; 88(2): 199-204.
- [20] SIBELLO RY, ALONSO CM, DÍAZ M, CARTAS H. Caracterización radiactiva de los suelos y productos agrícolas de la región Centro-Sur de Cuba. *Nucleus*. 2002; (31): 27-33.
- [21] WinAxil code. Version 4.5.2. WinAxil. [software]. CANBERRA MITAC, 2005.
- [22] PADILLA R, MARKOWICZ A, WEGRZYNEK D, et. al. Quality management and method validation in EDXRF analysis. *X-Ray Spectrom*. 2007; 36(1): 27-34.
- [23] QUEVAUVILLER PH, MARRIER E. Quality assurance and quality control for environmental monitoring. Weinheim: VCH, 1995.
- [24] SURESH G, RAMASAMY V, MEENAKSHISUNDARAM V, et. al. Influence of mineralogical and heavy metal composition on natural radionuclide concentrations in the river sediments. *Appl Radiat Isot*. 2011; 69(10): 1466-1474.
- [25] LU X, WANG L, LI LY, et. al. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. *J Hazard Mater*. 2010; 173(1-3): 744-749.
- [26] CHEN TB, ZHENG YM, LEI M, et. al. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*. 2005; 60(4): 542-551.
- [27] BERETKA J, MATHEW PJ. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by products. *Health Physics*. 1985; 48(1): 87-95.
- [28] MEHRA R, SINGH S, SINGH K, SONKAWADW R. <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K analysis in soil samples from some areas of Malwa region, Punjab, India using gamma ray spectrometry. *Env Monit Assess*. 2007; 134(1-3): 333-342.
- [29] Lu X, Liu W, Zhao C, Chen C. Environmental assessment of heavy metal and natural radioactivity in soil around a coal-fired power plant in China. *J Radioanal Nucl Chem*. 2013; 295(3): 1845-1854.
- [30] GUO G, WU F, XIE F, ZHANG R. Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China. *J Environ Sci*. 2012; 24(3): 410-418.

Recibido: 9 de abril de 2013

Aceptado: 24 de octubre de 2013

# Automated calibration of dosimeters used in radiotherapy

Andy L. Romero Acosta, Stefan Gutiérrez Lores  
Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR)  
Calle 20 No 4113 e/ 41 y 47, Playa. La Habana, Cuba  
andy@cphr.edu.cu

## Abstract

Traceability, accuracy and consistency of radiation measurements are essential in radiation dosimetry, particularly in radiotherapy, where the outcome of treatments is highly dependent on the radiation dose delivered to patients. Calibration of dosimeters for external beam radiotherapy includes current and charge measurements, which are often repetitive. However, these measurements are usually done using modern electrometers, which are equipped with an RS-232 interface that enables instrument control from a computer. This paper presents an automated system aimed to the measurements for the calibration of dosimeters used in radiotherapy. A software application was developed, in order to achieve the acquisition of the charge values measured, calculation of the calibration coefficient and issue of a calibration certificate. A primary data report file is filled and stored in the computer hard disk. The calibration method used was calibration by substitution. By using this software tool, a better control over the calibration process is achieved and the need for human intervention is reduced. The automated system has been used for the calibration of dosimeters used in radiotherapy at the Cuban Secondary Standard Dosimetry Laboratory of the Center for Radiation Protection and Hygiene

*Key words:* calibration, radiotherapy, automation, laboratories, doseimeters

## Automatización de la calibración de dosímetros de radioterapia

### Resumen

La trazabilidad, exactitud y consistencia de las mediciones son esenciales en la dosimetría de las radiaciones, sobre todo en radioterapia, donde el resultado del tratamiento depende mucho de la dosis de radiación suministrada. Los procedimientos de calibración de dosímetros de radioterapia incluyen mediciones de carga y corriente que son a menudo complejas y repetitivas. Sin embargo, para realizar estas mediciones, usualmente se emplean electrómetros modernos que incluyen una interfaz RS-232, la cual hace posible controlar estos equipos desde una computadora. En el trabajo se presenta un sistema automatizado para las mediciones en el proceso de calibración de dosímetros de referencia de radioterapia. Se confeccionó una aplicación informática que realiza la adquisición de los valores medidos de carga eléctrica, calcula el coeficiente de calibración y automatiza la emisión del certificado de calibración. Estos valores se guardan en un fichero de registro, en una computadora. El método de calibración empleado fue calibración por sustitución. El uso de la aplicación mejora el control sobre el proceso de calibración y contribuye a humanizar el trabajo. La herramienta informática desarrollada se aplicó en la calibración de dosímetros patrones de radioterapia, en el Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones

*Palabras clave:* calibración, radioterapia, automatización, laboratorios, dosímetros

### Introduction

The international measurement system provides the necessary structure in order to ensure the compatibility in dosimetry of ionizing radiation, by making available to the user community instrument calibrations that

are traceable to primary standards. As an important element of this structure is the Secondary Standard Dosimetry Laboratory (SSDL) network, whose main role is to provide users with traceable calibrations to the international measurement system, allowing the transference of calibrations of the dosimeters from

the primary standard to the user instruments [1]. One of the main objectives of SSDLs is the continuing maintenance and improving of their calibration capabilities. The Cuban Secondary Standard Dosimetry Laboratory at the Center for Radiation Protection and Hygiene (CPHR) is not an exception with more than fifteen years since its creation, it provides calibration services based on a Quality Management System in accordance with the international standard ISO/IEC 17025, acknowledged by the Euro-Asian Cooperation of National Metrological Institutions (COOMET) and accredited by the National Accreditation Body of the Republic of Cuba (ONARC).

One of the actions taken in order to improve the calibration and measurement capabilities of the Cuban SSDL was the automation of measurements performed during the calibration of dosimeters used in radiotherapy in terms of air kerma and absorbed dose to water. This paper presents the experiences of the Cuban SSDL in the design and development of a software, named Univait, which adopted the guideline recommended by the IAEA [2] and used for more than ten years for the calibration of these dosimeters at the SSDL. This software tool enables the communication with different models of PTW Unidos electrometers, which are equipped with an RS-232 interface that makes instrument control feasible using a computer.

By using an automated system for the acquisition of measurements taken during the calibration process, the amount of work for laboratory staff is relieved; in addition, it improves the control of the calibration process. This system also decreases the time of execution of the calibration process and, consequently, increases energy saving in this particular task.

## Materials and methods

The ionization chambers used were: NE 2561, NE 2571, NE 2581, W30001, W30004, W31002 and TM34001. These chambers were used with the following electrometers: PTW UNIDOS 10001, 10002, UNIDOS E and UNIDOS Weblin. The Cobalt-60 teletherapy unit used in the calibration of these ionization chambers was a Phoenix-20 unit. Temperature and pressure were measured with a Thommen Climate SW HM30 digital thermometer and a Vaisala digital barometer, respectively (Figure 1). A cubic water phantom with plastic walls and a side length of 30 cm was used for the calibration in terms of absorbed dose to water.

### Calibration method

The calibration method used was calibration by substitution [3]. In this method, first the reference dosimeter is placed at the calibration point to determine the reference output rate of the beam through a set of readings; it is then replaced by the dosimeter to be calibrated and a similar set of readings is taken.

The calibration was done in the following reference conditions: temperature of 20°C, pressure of 101.325 kPa, and radiation field width of 10 cm x 10 cm

to the distance from the water phantom to the <sup>60</sup>Co source of 80 cm. The reference depth in the phantom was 5 cm. The collimator setting was fixed throughout the calibration procedure, exposed in TRS-374 [2], TRS-469 [3], and TRS-398 [4]. The SSDL procedures for calibration in terms of air kerma and absorbed dose to water have been validated as well as followed the steps described in these technical reports. Using the substitution method, the calibration coefficient of an instrument is determined in two steps:

**Step 1:** Measurements are made with the reference standard dosimeter to determine the output rate  $\dot{K}_{a,Q}$  of a radiation beam of quality Q with the SSDL reference calibrated at IAEA [5]:

$$\dot{K}_{a,Q} = N_{K,Q}^{ref} M_{corr}^{ref} \quad (1)$$

Where  $N_{K,Q}^{ref}$  is the calibration coefficient of the SSDL reference standard for the beam quality Q and  $M_{corr}^{ref}$  is the reading of the reference dosimeter corrected for the influence quantities.

**Step 2:** Measurements are made with the user instrument at the same position as the reference standard in the beam of quality Q. The calibration coefficient  $\frac{k_{TP}^{ref}}{k_{TP}^{user}}$  is determined as the ratio of the output rate,  $\dot{K}_{a,Q}$  determined in step 1, to the mean reading obtained from the instrument to be calibrated, corrected for the influence quantities:

$$N_Q^{user} = \frac{\dot{K}_{a,Q}}{M_{corr}^{user}} k_{source} \quad (2)$$

Where  $k_{source}$  is a correction for the effect of a change in source position.

$M_{corr}$  is the reading obtained with either the reference dosimeter or the user dosimeter corrected for influence quantities.  $M_{corr}^{ref}$  and  $M_{corr}^{user}$ , from equations (1) and (2), are denoted in the following

$$M_{corr} = M_{raw} k_{TP} k_{dist} k_{stab} k_{others} \quad (3)$$

Where  $M_{raw}$  is the mean value of the readings taken after the instrument settled,  $k_{TP}$  is a factor to correct for departure of air density from reference conditions,  $k_{dist}$  is a factor to correct for deviation of chamber position from the reference position,  $k_{stab}$  is a factor to correct for the stability of the SSDL reference standard, and  $k_{others}$  is a factor including all the corrections whose uncertainties are too small to be individually considered in the uncertainty budget, because they are estimated to be much less than 0.1%. Combining the equations (1) - (3) we will have:

$$N_Q^{user} = k_{source} k_{stab} N_{K,Q}^{ref} \frac{M_{raw}^{ref} k_{TP}^{ref} k_{dist}^{ref} k_{other}^{ref}}{M_{raw}^{user} k_{TP}^{user} k_{dist}^{user} k_{other}^{user}} \dot{K}_{a,Q} \quad (4)$$

Where  $\frac{k_{TP}^{ref}}{k_{TP}^{user}}$  is given by,

$$\frac{k_{TP}^{ref}}{k_{TP}^{user}} = \left( \frac{273.15 + T^{ref}}{273.15 + T^{user}} \right) \frac{\rho^{user}}{\rho^{ref}} \quad (5)$$

Since in our conditions , , and were negligible and their uncertainties have been well determined, is given by:

$$N_Q^{user} = N_{K,Q}^{ref} \frac{M_{raw}^{ref} k_{TP}^{ref}}{M_{raw}^{user} k_{TP}^{user}} \dot{K}_{a,Q} \quad (6)$$

### Measurement of uncertainty

The evaluation method for the uncertainty of the calibration coefficient is that outlined in the IAEA publication [5] and the ISO document [6]. This method considers all the quantities that might contribute to the overall uncertainty and neglects those that contribute less than 0.1%. It then chooses typical values for the uncertainties of the remaining quantities and shows how to evaluate the overall uncertainty.

Table 1 shows a typical uncertainty budget for the calibration of a W30001 chamber against a working standard for absorbed dose to water in <sup>60</sup>Co. The sources of uncertainty are shown in three groups: factors

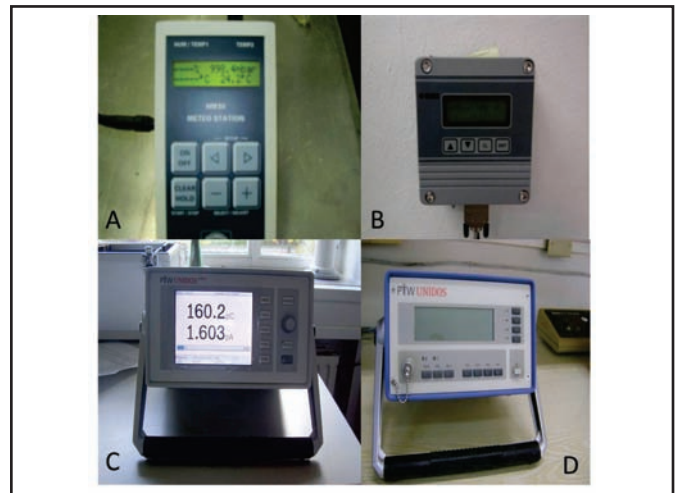
**Table 1.** Uncertainty budget for the calibration of a W30001 chamber against a working standard, for absorbed dose to water in <sup>60</sup>Co

Source of uncertainty	Type A (%)	Type B (%)
<b>1. Working standard</b>		
Calibration coefficient $N_{D,w}$	-	0.55
Long term stability	-	0.14
Calibration of electrometer	-	0.14
Current measurement	0	0.01
Recombination loss	-	-
Air density	-	0.10
<b>2. User dosimeter</b>		
Current measurement	0.01	0.01
Recombination loss	-	-
Air density	-	0.10
<b>3. Both dosimeters</b>		
Field inhomogeneity	-	0.03
Positioning	-	0.14
<b>Combined standard uncertainty</b>	<b>0.62</b>	

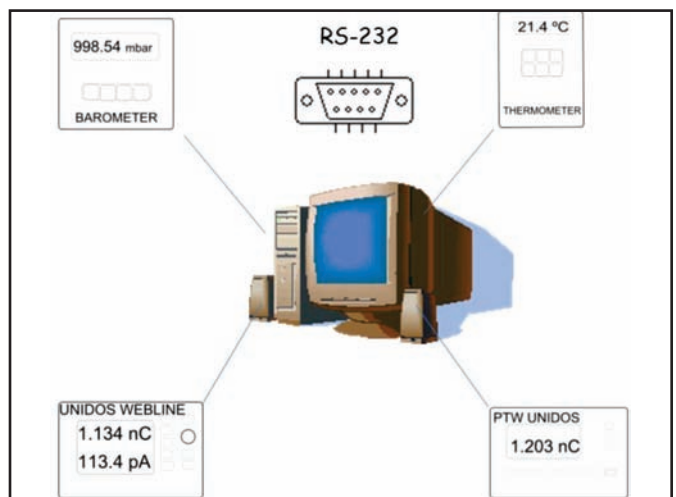
influencing the working standard, factors influencing the user dosimeter and factors influencing both dosimeters. In the case of measurement of current and field inhomogeneity, relative standard uncertainties of less than 0.1% were found. The corresponding relative standard uncertainty values were retained in this table to maintain clarity.

### Results

Figure 1 and 2 show the automated system components. It is composed of the Vaisala digital barometer, the Thommen digital thermometer, two PTW Unidos electrometers and a computer. The instruments are connected to the computer using RS232 cables and RS232-USB adapters.



**Figure 1.** Components of the automated system. A. Digital thermometer, B. Digital barometer, C. and D. PTW UNIDOS electrometers



**Figure 2.** Components of the automated system and interface

A software tool for the automation of the calibration procedures was developed in LabVIEW [7], a platform and development environment for a visual programming language. This tool follows the steps included in the validated procedures for the calibration in terms of air kerma and absorbed dose to water. The developed

application performs the acquisition from electrometers and the processing of charge values, it writes the final data in a data report file and issues a calibration certificate. On the following lines the steps related with to these tasks are described.

**Leakage measurement:** The software makes easy the setting of the time for the determination of the leakage current. It also enables to save the initial and final charge values, its respective time values and the calculated value of leakage current. If the value obtained is higher than 0.1% of the current determined or if it is greater than 10 -14 A, the program will notify this event and will stop the calibration.

**Measurement with the working standard chamber:** Five charge readings are taken by the application, using an integration time satisfying that the measured charge is at least of 1 nC. The temperature and pressure values can be acquired from the Thommen thermometer and the Vaisala barometer, respectively, as default, or they can be entered by the user. All these values are saved in the data report file. The software calculates the difference between the measured air kerma or absorbed dose to water and the reference values of these quantities after decaying correction. If the difference is higher than  $\pm 0.5\%$ , a warning is shown. In that case the position of the chamber or the phantom should be checked and the measurement repeated. If this difference persists, the user must stop the calibration and restart it later.

**Calculation of the calibration coefficient:** The steps followed with the working standard dosimeter are then repeated with the user dosimeter. The application computes the calibration coefficients of air kerma or absorbed dose to water using equations from (1) to (6). The operations carried out with both the working standard and the user dosimeters are repeated later and the calibration coefficient is recalculated by the software. The calibration coefficients are compared and the difference between them should not exceed 0.5%. Otherwise, it would be necessary to repeat the charge measurements. Then, the reported calibration coefficient then would be determined as the average of the two measured values.

**Calibration Report:** Instrument features and also all its data output are saved in the calibration data report file, whose fields are the same that were contained in the old calibration report book.

**Calibration certificate:** Results of the calibration are reported in a calibration certificate. Although the calibration coefficient is the most important parameter, the application included additional information for the correct interpretation of the results of the calibration.

**Quality controls on ionization chambers:** It is a good practice to perform periodically quality controls on ionization chambers periodically. A portable check source is used with this aim. The module of the computer application responsible for this task carries out five measurements of ionization current, using an integration time set by the user in such a way that at least 1 nC was measured for the charge for each measurement. The

mean of the obtained current values is compared to the reference current, taking into account the radioactive decay and corrections to the reference conditions of temperature and pressure. All these parameters are saved in the calibration data report file. The difference between the reference and the measured current should not exceed 0.5%. Otherwise, the quality control should be repeated and if the deviation persists, the control should be stopped, being necessary for the staff to analyze the possible causes of the failure to comply with the criterion.

### User interface

The software tool is composed of three modules (Figure 3): Instrument, Calibration and Quality Control, which are described hereunder.

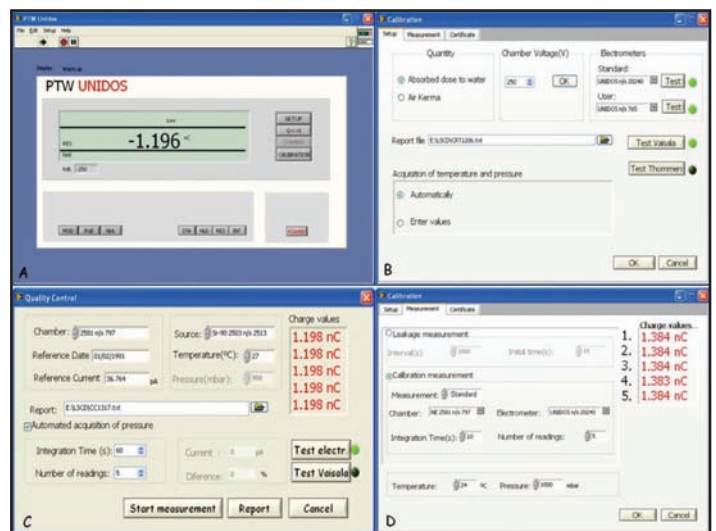


Figure 3. View of the software modules. A. Instrument, B. Calibration (Setup), C. Quality Control, D. Calibration (Measurements)

**Instrument:** It enables the control and communication with the electrometer, keeping the same operational functions given by the real key panel of the instrument. The graphical interface is identical to the view of the real front panel of the electrometer, which makes its control easier.

**Calibration:** This is the module that accomplishes the calibration procedure. It is the most important block and its functions were described earlier. As the instrument module, the calibration module presents an intuitive graphical user interface which enables to carry out the steps comprised in the calibration procedure. When the application is launched, the parameters corresponding to the last measurement, e.g., ionization chamber, path of the data report file, quantity in which the calibration will be done (air kerma or absorbed dose to water), are shown on the screen.

**Quality control:** As its name states, this module performs the quality controls on ionization chambers. As is shown in Figure 3, it presents a user interface that makes possible to specify the chamber model, reference current and date, source identification, temperature,

pressure, integration time and number of readings; showing after execution the final value of the ionization current and the percentage difference from the reference current.

### Comparison of the results obtained with and without the automated system

Table 2 shows data and result of calibration for the user dosimeters calibrated, in terms of absorbed dose to water, in  $^{60}\text{Co}$ , using the software application. The working standard was a NE 2581 chamber connected

to a PTW Unidos 10002 electrometer. Two sets of five readings each one were taken for each user dosimeter. Shown values correspond to the mean values for the two sets of readings for each instrument. The calibration coefficient  $N_{D,w}$  was reported with the expanded uncertainty ( $k = 2$ ), which was estimated from Table 1. When this result was compared to the one of the preceding calibration of the same dosimeter performed two years before, showed in Table 3, we noted that the difference was, in the worst case, in the order of 0.6%, which is in the expected range of variability.

**Table 2.** Calibration of dosimeters in terms of absorbed dose to water, in  $^{60}\text{Co}$ , using the software

No.	Working standard dosimeter			User dosimeter			$N_{D,w}$ (mGy/nC)
	Current (nA)	T (°C)	P(mbar)	Current(nA)	T (°C)	P(mbar)	
1	0.116	25.9	998.5	0.131	25.6	998.5	$51.6 \pm 0.7$
	0.116	25.5	998.5	0.131	25.3	998.4	
2	0.124	22.5	995.2	0.122	22.3	994.9	$58.3 \pm 0.8$
	0.124	22.5	995.2	0.122	22.3	994.9	
3	0.120	24.3	1000.1	0.133	24.5	1000.2	$52.2 \pm 0.7$
	0.120	24.3	1000.1	0.133	24.5	1000.2	
4	0.120	24.3	1000.1	0.129	24.9	1000.8	$53.8 \pm 0.7$
	0.120	24.3	1000.1	0.129	24.9	1000.8	
5	0.133	23.6	994.9	0.026	23.5	994.8	$294.4 \pm 3.6$
	0.133	23.6	994.9	0.026	23.5	994.8	
6	0.135	21.6	997.0	0.143	21.5	997.0	$54.2 \pm 0.7$
	0.135	21.5	997.0	0.143	21.5	997.1	
7	0.135	21.6	996.4	0.009	21.6	996.8	$84.1 \pm 1.0$
	0.135	21.5	997.0	0.009	21.6	996.8	
8	0.124	23.2	998.8	0.137	22.9	998.4	$52.1 \pm 0.7$
	0.124	23.2	998.8	0.137	22.9	998.4	

**Table 3.** Preceding calibration of the same dosimeters in terms of absorbed dose to water, in  $^{60}\text{Co}$ , without using the software

No.	Working standard dosimeter			User dosimeter			ND,w(mGy/nC)
	Current (nA)	T (°C)	P(mbar)	Current(nA)	T (°C)	P(mbar)	
1	0.170	22.1	1003.0	0.189	21.4	1000.5	$51.9 \pm 0.6$
	0.170	22.1	1003.0	0.189	21.4	1000.5	
2	0.164	23.9	999.0	0.163	23.7	999.0	$58.2 \pm 0.7$
	0.164	23.9	999.0	0.163	23.7	999.0	
3	0.190	23.1	993.0	0.210	23.0	992.0	$52.2 \pm 0.7$
	0.190	23.0	992.0	0.210	23.0	992.0	
4	0.190	23.1	993.0	0.204	23.0	993.0	$53.7 \pm 0.7$
	0.190	23.0	992.0	0.204	23.0	993.0	
5	0.195	23.6	997.5	0.039	22.4	996.5	$292.5 \pm 3.6$
	0.195	22.8	996.5	0.039	22.4	996.5	
6	0.216	23.8	1006.0	0.229	23.8	1006.0	$54.5 \pm 0.7$
	0.216	23.8	1006.0	0.229	23.8	1006.0	
7	0.192	23.6	1001.0	0.132	23.6	1001.0	$84.2 \pm 1.0$
	0.192	23.6	1001.0	0.132	23.6	1001.0	
8	0.159	25.5	999.0	0.177	25.0	999.0	$52.0 \pm 0.6$
	0.159	25.5	999.0	0.177	25.0	999.0	

### Reduction of the calibration execution time

The developed application shortened the time required for the calibration process. The elapsed time corresponding to the setup of the measurement system, leakage measurement, determination of the calibration coefficient, data writing in the report file, issue of the calibration certificate and quality control on the user chamber, without using the program was about 4 hours 30 minutes; meanwhile with the software tool this time was 3 hours 15 minutes. Hence, there was a time reduction of 1 hour 15 minutes, representing a 28% saving of the time required without the application.

### Conclusions

An automated system for measurements was developed for the calibration of dosimeters used in radiotherapy. A software application was designed and created using LabVIEW. The application improves the capability of the SSDL for answering to a higher demand of this calibration service, frees the staff from complex and repetitive tasks, and decreases the probability of occurrence of human errors. The calibration execution time has also been reduced. Comparison of the results obtained with and without the software application shows not significant differences in the calibration coefficients.

The automated system has been used for the calibration of dosimeters used in radiotherapy at the Cuban Secondary Standard Dosimetry Laboratory at the CPHR.

### References

- [1] OIML. Secondary Standard Dosimetry Laboratories for the Calibration of Dosimeters used in Radiotherapy. Document OIML D-21. Paris: OIML, 1990.
- [2] IAEA. Calibration of Dosimeters used in Radiotherapy. Technical Reports Series No. 374. Vienna: IAEA, 1994.
- [3] IAEA. Calibration of reference dosimeters for external beam radiotherapy. Technical Reports Series No. 469. Vienna: IAEA, 2009.
- [4] IAEA. Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. Technical Reports Series No. 398. Vienna: IAEA, 2000.
- [5] IAEA. Measurement Uncertainty: A Practical Guide for Secondary Standard Dosimetry Laboratories. IAEA-TECDOC-1585. Vienna: IAEA, 2008.
- [6] ISO. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Geneva: ISO, 1995.
- [7] National Instruments. LabVIEW System Design Software 2010. [software en línea] <<http://www.ni.com/labview/>> [consultado: 7 enero 2013].

Recibido: 14 de agosto de 2013

Aceptado: 24 de octubre de 2013

# Revistas certificadas

## como Publicaciones Serias Científico-Tecnológicas

Se encuentra disponible la base de datos de 110 revistas seriadas cubanas, que se han certificado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente como publicaciones científicas.

Estas aparecen en formato impreso o electrónico, y se sometieron a una comisión evaluadora de acuerdo con la Resolución 59 del año 2003 del CITMA, que analiza y controla sistemáticamente el cumplimiento de los parámetros que rigen las publicaciones científicas en Cuba, y que se referencian en otras bases de datos internacionales.

La relación de títulos que aquí aparece muestra a la comunidad científica cubana los espacios donde pueden publicar para que sus artículos sean reconocidos en sus Curriculum Vitae, y por jurados y tribunales de diferente índole, grados y categorías científicas.

Se incluyen también, en el Catálogo del Instituto Cubano del Libro con el sello de acreditación del CITMA.

**Dirección de Ciencias  
CITMA**



Anuario del Centro de Estudios Martianos	-----	CE
Temas de Economía Mundial	-----	CE
Isla , Ciencia y Tecnología	-----	CITMA
Revista Cubana de Filosofía	-----	CITMA
Cubazoo	-----	CITMA
Innovación Tecnológica	-----	CITMA
Boletín Científico Técnico INIMET	-----	CITMA
Normalización	-----	CITMA
Avances	-----	CITMA
Avanzada Científica	-----	CITMA
Ciencia en su PC	-----	CITMA
Ciencias Holguín	-----	CITMA
Granma Ciencia	-----	CITMA
Hombre, Ciencia y Tecnología	-----	CITMA
Infociencia	-----	CITMA
Acta Botánica Cubana	-----	CITMA
Biotechnología aplicada	-----	CITMA
Vacci Monitor	-----	CITMA
Nucleus	-----	CITMA
Revista Cubana de Meteorología	-----	CITMA
Ciencias de la Tierra y del Espacio	-----	CITMA
Memorias de Geoinfo	-----	CITMA
Serie Oceanológica	-----	CITMA
Boletín del Archivo Nacional de Cuba	-----	CITMA
Revista Cubana de Ciencias Sociales	-----	CITMA
Ciencias de la Información	-----	CITMA
Anuario Estudios Lingüísticos	-----	CITMA
Anuario Estudios Literarios	-----	CITMA
Anuario de Investigaciones Culturales	-----	Dirección Provincial de Cultura
Cuba: Investigación Económica	-----	MEP
Centro Agrícola	-----	MES
Cultivos Tropicales	-----	MES
Pastos y Forrajes	-----	MES
Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias	-----	MES
Revista de Protección Vegetal	-----	MES
Revista de Salud Animal	-----	MES
Minería y Geología	-----	MES



# Revistas certificadas

Revista CENIC, Ciencias Biológicas -----	MES	Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Medicina Transfusional -----	MINSAP
Revista del Jardín Botánico Nacional -----	MES	Revista Cubana de Higiene y Epidemiología -----	MINSAP
Investigación Operacional-----	MES	Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas -----	MINSAP
Revista CENIC, Ciencias Químicas -----	MES	Revista Cubana de Medicina -----	MINSAP
Islas -----	MES	Revista Cubana de Medicina General Integral-----	MINSAP
Universidad de La Habana -----	MES	Revista Cubana de Medicina Tropical -----	MINSAP
Revista Cubana de Educación Superior -----	MES	Revista Cubana de Obstetricia y Ginecología -----	MINSAP
Revista Pedagogía Universitaria-----	MES	Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología -----	MINSAP
Retos Turísticos -----	MES	Revista Cubana de Pediatría -----	MINSAP
Tecnología Química -----	MES	Revista electrónica del Hospital Psiquiátrico de La Habana -----	MINSAP
Revista Cubana de Química-----	MES	Archivo Médico de Camagüey -----	MINSAP
Santiago -----	MES	Revista Cubana de Genética Comunitaria -----	MINSAP
Ciencia y Tecnología Ganadera-----	MINAGRI	Humanidades Médicas-----	MINSAP
Revista Forestal Baracoa-----	MINAGRI	Medicentro Electrónica -----	MINSAP
Citrifrut-----	MINAGRI	Medi Ciego-----	MINSAP
Fitosanidad-----	MINAGRI	Medisan-----	MINSAP
Revista Cubana del Arroz -----	MINAGRI	Revista Cubana de Plantas Medicinales -----	MINSAP
Agrotecnia de Cuba -----	MINAGRI	Revista de Ciencias Médicas de La Habana-----	MINSAP
Café Cacao-----	MINAGRI	Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río-----	MINSAP
Ciencia y Tecnología de Alimentos -----	MINAL	Revista Habanera de Ciencias Médicas -----	MINSAP
Cubaenvases-----	MINAL	Revista Electrónica «Dr. Zoilo Marinello Vidaurreta»-----	MINSAP
ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar -----	MINAZ	Revista Médica Electrónica -----	MINSAP
INFOMIN -----	MINBAS	Revista Cubana de Salud Pública -----	MINSAP
Catauro. Revista Cubana de antropología-----	MINCULT	Revista Cubana de Salud y Trabajo -----	MINSAP
Temas -----	MINCULT	Revista Cubana de Informática Médica -----	MINSAP
Bibliotecas. Anales de investigación -----	MINCULT	Acimed-----	MINSAP
Clave -----	MINCULT	Educación Médica Superior -----	MINSAP
Revista Cubana de Medicina Militar-----	MINFAR-MINSAP	Medisur -----	MINSAP
Anuario del Centro de Investigaciones Jurídicas -----	MINJUS	Anuario Científico CECMED -----	MINSAP
Revista Cubana de Oftalmología -----	MINSAP	Panorama.Cuba y Salud-----	MINSAP
Revista Cubana de Anestesiología y Reanimación -----	MINSAP	Revista de Información Científica -----	MINSAP
Revista Cubana de Angiología y Cirugía Vascul ar -----	MINSAP	Gaceta Médica Espirituana-----	MINSAP
Revista Cubana de Cirugía -----	MINSAP	Acuacuba -----	MIP
Revista Cubana de Endocrinología -----	MINSAP	Transporte, Desarrollo y Medio Ambiente -----	MITRANS
Revista Cubana de Enfermería -----	MINSAP	Estudio-----	UJC
Revista Cubana de Estomatología-----	MINSAP	Signa la Marcha-----	Unión Nacional de Historiadores de Cuba
Revista Cubana de Farmacia-----	MINSAP		

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA)  
 Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación  
 María de los Ángeles Pérez Sendín E-mail: macu@citma.cu

# Instrucciones a los AUTORES para publicar en nucleus

Para las secciones **Ciencias Nucleares e Innovación Tecnológica**, recomendamos que:

- Los artículos originales deben tener una extensión máxima de 10 cuartillas (a una columna) incluidas tablas (un máximo de 5) e ilustraciones (un máximo de 5). Se enviarán por correo electrónico, en Word y en Arial 12 a 1,5 espacios, o entregar en la propia redacción de la revista en cualquier soporte electrónico. El total de líneas por páginas es 30 como máximo.
- Los artículos tendrán el siguiente orden: Resumen (español e inglés), Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Conclusiones, Recomendaciones (opcional), Agradecimientos (opcional), Referencias Bibliográficas y Bibliografía Consultada o Complementaria. Estas secciones deben estar bien definidas, aunque no necesariamente con subtítulos.
- Cada trabajo deberá acompañarse de una carta firmada por todos sus autores en la que se indique que dicho trabajo no se ha enviado a otra publicación con anterioridad, que se ha aprobado por todos sus autores para su publicación tal y como se presenta y que los autores cumplen los requisitos de autoría.
- Los artículos están sujetos a arbitraje y a la aprobación del Consejo Editorial.
- Las contribuciones a la Revista se divulgan sin costo alguno para los autores. Una vez aceptados para su aprobación, los derechos de reproducción (copyright) son propiedad de la casa editorial.

**Autor (es):** Especificar nombres y dos apellidos así como la institución de procedencia. Los autores se deben enumerar por orden en relación con los experimentos e investigaciones realizadas. Si el número es superior a cuatro se aclarará, por escrito, el aporte de cada uno en la investigación o preparación del artículo.

**Título:** No debe exceder de 100 letras, o 15 palabras, ni contener abreviaturas, fórmulas químicas, ni nombres patentados (en lugar de genéricos). Debe aparecer en español e inglés.

**Resumen:** No debe exceder de 250 palabras, ni contener siglas, abreviaturas ni referencias bibliográficas. Debe indicar los objetivos principales y alcance de la investigación, describir los métodos empleados, resumir los resultados y enunciar las conclusiones principales. Debe aparecer escrito en estilo impersonal, en pretérito, en español e inglés.

Se reflejará el contenido del documento a partir de 3 a 10 palabras clave al pie del resumen y en orden de importancia, en inglés. Por su parte el INIS insertará los descriptores correspondientes a la indización de cada trabajo.

**Introducción:** Exponer con toda la claridad posible, la naturaleza y alcance de la investigación, revisar las publicaciones pertinentes, indicar el método de investigación si se estima necesario, mencionar los principales resultados de la investigación y expresar la con-

clusión o conclusiones principales sugeridas por los resultados.

**Materiales y métodos:** La mayor parte de esta sección se debe escribir en pasado y dar toda clase de detalles. La finalidad principal es describir y que los resultados sean reproducibles. En los materiales hay que incluir las especificaciones técnicas y las cantidades exactas, así como la procedencia o el método de preparación. Se deben emplear los nombres genéricos o químicos.

**Resultados:** Se debe hacer una descripción amplia, clara y sencilla de los experimentos, ofreciendo un panorama general pero sin repetir los detalles experimentales de los Materiales y Métodos. Se deben presentar los datos más representativos. La exposición se debe redactar en pretérito.

**Discusión:** Se deben presentar de forma expositiva los principios, relaciones y generalizaciones que los Resultados indican. Se deben señalar las excepciones o las faltas de correlación y delimitar los aspectos no resueltos. Mostrar cómo concuerdan (o no) los resultados e interpretaciones con los trabajos anteriormente publicados. Se deben exponer las consecuencias teóricas del trabajo y sus posibles aplicaciones prácticas. Resuma las pruebas que respaldan cada conclusión. Los tiempos verbales oscilarán entre el presente y el pasado.

**Conclusiones:** Se deben formular lo más clara posible.

**Recomendaciones (opcional)**

**Agradecimientos (opcional):** Se debe agradecer cualquier ayuda técnica importante recibida de cualquier persona que haya colaborado en el trabajo, experimento, o provisión de equipos, materiales especiales, etcétera. No se deben utilizar palabras como desear, entre otras. Se pueden utilizar frases como «doy las gracias a...»

**Referencias bibliográficas:** Se deben enumerar solo obras importantes y publicadas. Si una referencia parece absolutamente esencial, se podrá añadir al texto entre paréntesis o como nota de pie de página. Los trabajos originales no sobrepasarán las 20 citas; las revisiones, de 25 a 50 y las comunicaciones breves e informes de casos, 10. Se deben cotejar todas las partes de cada referencia contra la publicación original antes de presentar el artículo. Las referencias en el texto se deben enumerar con números arábigos entre corchetes en el lugar en que se apliquen y siguiendo un orden de aparición consecutivo: apellido, nombre del autor (es), título del trabajo, título de la publicación, año; volumen (número de la publicación): página inicial-página final. Si tiene 7 o más autores, se mencionarán los 6 primeros, seguidos de «et al.»

**Bibliografía consultada o complementaria:** Se deben enumerar con números arábigos entre corchetes al final del trabajo por orden alfabético por el apellido del autor, o por el título si no apareciera autor. Los títulos de las publicaciones periódicas se deben

adecuar al sistema INIS (véase IAEA-INIS-11). No se deben incluir las referencias a trabajos no publicados.

**Abreviaturas, siglas y símbolos:** Deben ser los aceptados internacionalmente. Las abreviaturas y siglas se deben explicar la primera vez que se mencionan. Los símbolos y caracteres griegos, al igual que los subíndices y supraíndices, se deben definir claramente.

**Tablas:** Se deben ordenar con numeración arábica e incluirse al final del trabajo. Los términos, las abreviaturas y los símbolos utilizados en las figuras deben ser los mismos que aparecen en el texto. No utilice caracteres, ni símbolos poco frecuentes (son preferibles los círculos, cuadrados o triángulos en blanco o rellenos). Si son muy complejos se deben aclarar en una leyenda concisa. Los símbolos y caracteres deben ser claros y de tamaño suficiente, de manera que al reducirlos para la publicación sean legibles.

**Ecuaciones y fórmulas:** Se deben escribir con precisión, en especial los subíndices y supraíndices. Evite el uso de exponentes complicados y la repetición de expresiones elaboradas.

**Unidades:** Como norma general se deberá emplear el Sistema Internacional de Unidades y prescindir de símbolos y abreviaturas inadecuados.

## Para publicar en **OTRAS SECCIONES**

Los artículos de las demás secciones de la revista deben tener como objetivo difundir, con rigor científico y de forma asequible al público en general, temas relacionados con la energética nuclear, las diversas aplicaciones de las técnicas nucleares, la seguridad

nuclear, la protección radiológica, salvaguardias y no proliferación, energía nuclear e información pública. Los trabajos no deben exceder las 10 cuartillas, incluidas ilustraciones y tablas. Deben contener resumen y título en español e inglés. El título, las tablas e ilustraciones seguirán las mismas indicaciones que rigen para los artículos de la sección Ciencias Nucleares e Innovación Tecnológica. Las secciones son las siguientes:

- **Panorama Nuclear**
- **Ámbito Regulatorio**
- **Salvaguardias y No Proliferación, y**
- **En la Espiral**

Los artículos de estas secciones están sujetos a la aprobación del Consejo Editorial.

## Información **GENERAL**

Revista arbitrada, certificada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, que acredita oficialmente el carácter científico-tecnológico de la publicación seriada, y que contribuye a su homologación internacional.

- Los trabajos que no se acepten se devolverán al autor.
- El texto, las tablas y las figuras se incluirán en ficheros independientes.
- Los autores recibirán de forma gratuita un ejemplar de la revista donde aparece publicado su artículo.

## **PRESENTE su TRABAJO** por estas vías:

**La redacción** de la revista (dirección postal):

Calle 20 N° 4111 e/ 41 y 47, Miramar, Playa. CP 11300. La Habana, Cuba

**Correo electrónico:** [nucleus@cubaenergia.cu](mailto:nucleus@cubaenergia.cu)

**Web:** [www.cubaenergia.cu/publicaciones/nucleus](http://www.cubaenergia.cu/publicaciones/nucleus)

**Fax:** (537) 204 1188

## Instructions for **AUTHORS**

# to publisher on **nucleus** ...

## For **Nuclear Science and Technological Innovation** Section recommend

- Original papers should not exceed 10 pages (one column), including tables (up to 5) and illustrations (up to 5). They must be sent by email, in Word format, Arial 12th size font, with 1,5 line spacing, or delivered in the Editorial Department of the journal on any electronic medium. The lines per page are 30 at the maximum.
- The papers will have the following order: Summary (English and Spanish), Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusions, Recommendations (optional), Acknowledgements (optional), Bibliographic References and Consulted or Complementary Bibliography. These sections should be well defined, though not necessarily with subtitles.

- Each work must include a letter signed by all the authors, stating that such work: 1) has not been previously published; 2) has been approved by all the authors for publication as it was, and; 3) the authors meet the criteria for authorship.
- Papers are subject to a peer review and approval of the Editorial Board.
- Contributions to the journal are distributed free of charge to authors. Once selected for their approval, copyright is owned by the publishing house.

**Author (s):** Specify full names and the institutions. The authors should be listed following the order of experiments and researches carried out. If the number is greater than four, the contribution of each research to the preparation of the article will be clarified in writing.

**Title:** It should not exceed 100 characters or 15 words, nor contain abbreviations, chemical formulas, or registered names (instead of generic names). It should be in English and Spanish.

**Summary/Abstract:** It should not exceed 250 words, nor should contain acronyms, abbreviations or references. It should indicate the main objectives and scope of the research, describe the used methods, summarize the results and state the main conclusions. It should be written impersonally, in past tense, in both Spanish and English.

The document content will be based on 3 to 10 key words at the bottom of the abstract and in order of importance, in English. The INIS will include descriptor index for each work.

**Introduction:** Explain the nature and scope of the research as clearly as possible, review the relevant literature; indicate the research methods, if necessary; mention the main research results and state conclusions or the main conclusions suggested from the results.

**Materials and methods:** Most of this section should be written in past tense and full details shall be given. The main purpose is to make a description and reproduce the results. The materials should include technical specifications and the exact quantities, as well as the source or preparation method. Generic or chemical names should be used.

**Results:** A broad, clear and simple description of experiments should be made, providing an overview without repeating the details on the materials and methods used in the experiments. The most representative data should be provided. The statement or exposition should be written in past tense.

**Discussion:** Principles, relationships and generalizations from the results must be set out. Exceptions or lack of correlation should be noted, and unresolved issues should be identified. It is important to show how consistent (or not) are the results and interpretations with previously published papers. The theoretical implications of the work and its possible practical applications should be stated. Evidence supporting each conclusion should be summarized. Present and past tenses are to be used.

**Conclusions:** It should be made as clear as possible.

**Recommendations** (optional)

**Acknowledgments** (optional): You should be grateful for any major technical assistance received from any person who has contributed to the work, experiment, or provision of equipment, special materials, etc. Words like want, among others must be avoided. You can use phrases like «Thank you to. ...»

**References:** Only important and published works must be listed. If a reference seems absolutely essential, it may be added to the text in parentheses or as a footnote on page. Manuscripts should not exceed 20 quotations, revisions - from 25 to 50, and short communications and case reports - 10. All parts of each reference listing should be checked against the original before submitting the article. The references in the text should be numbered with Arabic numerals in square brackets following a consecutive order of appearance: last name, name of author (s), title, journal title, year, volume (number): initial page-final page. When there are 7 or more authors, only the first 6 author's names should be mentioned, followed by «et al.»

**Consulted or Complementary Bibliography:** should be listed with Arabic numerals in brackets at the end of the work in alphabetical order, by author's last name or by the title if author is not listed. The titles of journals must conform to the INIS System (see IAEA-INIS-11). References to unpublished work should not be included.

**Abbreviations, acronyms and symbols:** should be those internationally accepted. The abbreviations and acronyms should be explained the first time mentioned. Symbols and Greek characters should be clearly defined, as well as subscripts and superscripts.

**Tables:** should be ordered with Arabic numerals and included at the end of the paper. The terms, abbreviations and symbols used in the Figures should be the same of the text. Do not use characters or uncommon symbols (blank or filled in triangles, circles or squares are preferable). If they are too complex, they must be clarified in a concise caption. Symbols and characters must be clear and readable when reduced in size.

**Equations and formulas:** should be written accurately, especially subscripts and superscript. Avoid using complex exponents and repetition of elaborate expressions.

**Units:** As a general rule, the International System of Units must be used and inadequate symbols and abbreviations must be avoided.

## Publications in **OTHER SECTIONS**

The articles in other sections of the journal should be aimed at disseminating, with scientific rigor and in a way accessible to the public in general, issues related to nuclear energy, the different applications of nuclear technology, nuclear safety, radiation protection, safeguards and non proliferation, nuclear energy and public information. Papers should not exceed 10 pages, including illustrations and tables. They should contain an abstract and title in English and Spanish. The title, tables

and illustrations shall follow the same directions applied to the papers from the Nuclear Science and Technological Innovation Section. The sections are:

- **Nuclear Outlook**
- **Regulatory Area**
- **Safeguards and Non-proliferation, and**
- **In the Spiral**

The articles in these sections are subject to the approval of the Editorial Board.

## GENERAL information

A peer-reviewed journal, approved by the Ministry of Science, Technology and Environment of Cuba, which officially certifies its scientific and technological character, and contributes to its recognition as a journal equivalent to other international publications.

- Papers that are not accepted will be returned to the author.
- The text, tables and figures are included in separate files.
- The authors will receive a free copy of the journal where their article was published.

### SEND your ARTICLE for this ways:

In the **Editorial Department of the journal** (postal address):  
Street 20 N° 4111 between 41 and 47, Miramar, Playa, CP 11300. Havana, Cuba

**Electronic mail:** [nucleus@cubaenergia.cu](mailto:nucleus@cubaenergia.cu)

**Web:** [www.cubaenergia.cu/publicaciones/nucleus](http://www.cubaenergia.cu/publicaciones/nucleus)

**Fax:** (537) 204 1188

# nucleus *Suscripción* Subscription

*Sírvase suscribirme a Nucleus* Please enter my subscription to Nucleus

**Nombre y apellidos**Name: \_\_\_\_\_

**Dirección**Address: \_\_\_\_\_

**E-mail:** \_\_\_\_\_

**Ciudad**City: \_\_\_\_\_ **País**Country: \_\_\_\_\_

**Apartado Postal**Post Office setter-box: \_\_\_\_\_ **Código Postal**Mail code: \_\_\_\_\_

**Teléfono(s)**Telephone(s): \_\_\_\_\_ **Fax:** \_\_\_\_\_

**Suscripción  
anual  
Annual  
subscription**

Para nacionales  
For natives

**\$ 16.00 pesos**

Para extranjeros  
Foreign peoples

**\$ 20.00 USD**

Adjunto cheque por valor de: (colocar la tarjeta en sobre) I'm sending a check for: (place card in envelope) \_\_\_\_\_ Pesos/USD

Dirija su suscripción a la siguiente dirección Send your subscription to:

#### CUBAENERGIA

Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía  
Calle 20 N° 4111 e/ 41 y 47, Miramar, Playa, La Habana. CUBA  
Telf: (53 7) 203 1412

E-mail: [comercial@cubaenergia.cu](mailto:comercial@cubaenergia.cu)


**CUBAENERGIA**

 Centro de Gestión de la Información  
y Desarrollo de la Energía


## Servicios Científico Tecnológicos

### APLICACIONES DE INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS

Gerencia de proyectos que introduzcan aplicaciones de aprovechamiento de la energía solar térmica y fotovoltaica en: instalaciones de calentadores, secadores y destiladores solares, bombeo fotovoltaico, electrificación aislada e iluminación exterior.

Evaluación técnico económica y medio ambiental de las tecnologías de aprovechamiento de la radiación solar propiciando las de mayor impacto económico y medioambiental.

### ESTUDIO ENERGÉTICO INTEGRAL

Determinar el nivel de gestión energética de la organización. Se realiza un diagnóstico energético para evaluar el estado técnico de las instalaciones, incluyendo las tecnologías, las redes eléctricas y de suministro de vapor, agua y condensado. Se evalúan las áreas energéticas de estudio y se determinan los potenciales de ahorro, culminando con una propuesta de soluciones a los problemas energéticos de la organización.

### ASESORÍA Y CONSULTORÍA EN BioENERGÍA

Dirigido a la utilización de tecnologías que permitan el aprovechamiento energético de la biomasa, desde el diseño conceptual de proyectos e inversiones, los estudios de factibilidad técnico económica hasta la supervisión de la puesta en marcha y el monitoreo de los parámetros de explotación. Solución de problemas ambientales asociados a la deposición de residuales en instalaciones productivas. Incremento de la rentabilidad de la empresa por disminución del costo de los portadores energéticos y ventas de energía. Facilitar la toma de decisiones fundamentadas en el uso de recursos bioenergéticos disponibles.

### EVALUACIÓN INTEGRAL DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Medición y estimación de los contaminantes atmosféricos que libera una industria, modelación de su dispersión, y valoración del impacto al medio ambiente circundante. Inventario de los contaminantes específicos que produce su industria. Grado de responsabilidad que tiene su industria en la contaminación ambiental de su entorno e identificación de medidas de mitigación para disminuir la contaminación atmosférica que genera su empresa.

### PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA

Estudio y evaluación detallada de diferentes tecnologías para la generación de electricidad y su posible incorporación al Sistema Eléctrico Nacional para cubrir la demanda creciente de energía eléctrica. Abarca también el análisis de sensibilidad sobre parámetros claves en la operación del sistema. Estudios de demanda de energía. Dota a los encargados de suficiente información técnico económica para decidir sobre las inversiones en el sector eléctrico.

### GESTIÓN, ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN EN ENERGÍAS:

Productos informativos para cubrir las necesidades de información de los clientes y contribuir a la toma de decisiones sobre variados aspectos relacionados con la energía. Estudios de vigilancia tecnológica, prospectiva tecnológica y de patentes y tendencias. Búsqueda o reportes informativos. Estudios sobre marcos regulatorios internacionales. Boletines tecnológicos especializados. Perfiles de países y de proveedores de tecnologías energéticas. Directorios de entidades y especialistas. Desarrollo de sitios web, bases de datos y multimedia.

## Servicios Especializados de Comunicación y Educación

### DIVULGACIÓN Y EDUCACIÓN ENERGÉTICA

- » Cursos y entrenamientos vinculados a la energía, el cambio climático y la educación ambiental.

### FOTOGRAFÍA Y VIDEO

- » Filmación de videos y fotografía de eventos, reuniones y otros.
- » Videos y Spot publicitarios.

### TRADUCCIÓN Y ENTRENAMIENTO EN IDIOMA INGLÉS

- » Traducción especializada español-inglés-español.
- » Entrenamiento en diferentes niveles de idioma inglés.

### DISEÑO EDITORIAL Y DE PUBLICIDAD + GESTIÓN INTEGRAL DE EXPOSICIONES

- » Diseño editorial y de materiales publicitarios
- » Diseño de páginas Web
- » Diseño Gráfico Integral de Ferias
- » Guiones expositivos

### SERVICIOS POLIGRÁFICOS

- » Impresión Off-Set y Risograft de pequeñas y medianas tiradas para formato máximo A3.

### ALQUILER DE LOCALES

- » Alquiler de locales de diferentes capacidades para realizar eventos.