

# CONTRIBUCIONES A LA MEJORA DE LA DETERMINACIÓN DE RADIONÚCLIDOS POR ESPECTROMETRÍA GAMMA

**Autor:** Ing. Jorge A. Carrazana González, Dr. Cs.

**Coautores:** Lic. Isis María Fernández Gómez, MSc.  
Lic. Eduardo Capote Ferrera

**Colaboradores:** Ing. Reinaldo Gil Castillo  
Lic. Gloria Rodríguez Castro



# CONTRIBUCIONES A LA MEJORA DE LA DETERMINACIÓN DE RADIONÚCLIDOS POR ESPECTROMETRÍA GAMMA

**Se presentó como:**

**Resultado por su Aporte Científico (aporte al conocimiento)**

(Es una de las propuestas de la AENTA para optar por el Premio ACC 2019)

Relevante en Fórum de Base del CPHR

Relevante en Fórum Municipal



## Introducción

La Espectrometría Gamma es una de las técnicas analíticas más usadas a nivel internacional para la determinación de radionúclidos emisores gamma en diferentes tipos de muestras (con una amplia variedad de matrices) y directamente en el terreno.

Algunas de sus aplicaciones son:

- vigilancia radiológica de los alimentos y el agua de consumo humano,
- respuesta a emergencias radiológicas,
- caracterización radiológica de sitios de interés,
- desarrollo de estudios medioambientales (erosión, sedimentación).



En Cuba, la aplicación de la Espectrometría Gamma juega un **papel fundamental** en:

- **Sistema de Alerta Temprana** de Vigilancia Radiológica Ambiental del territorio nacional,
- Sistema de **Respuesta Nacional ante una Situación de Emergencia Radiológica y Nuclear**,
- Servicio Estatal de **Vigilancia Radiológica de Alimentos y Agua** de consumo humano,

Encargos estatales desde el punto de vista de **Seguridad Nacional**



- Red Nacional de **Vigilancia Radiológica Ambiental**,
- Desarrollo de **estudios medioambientales** (erosión y sedimentación).

Es imprescindible que las mediciones que se realicen por Espectrometría Gamma sean **confiables y trazables**.

# Problemática a nivel internacional asociada a la determinación de radionúclidos por

## Espectrometría Gamma

### Uso de patrones de calibración experimentales

- ✓ costo de adquisición,
- ✓ necesaria renovación (radionúclidos de corta vida),
- ✓ muchos países no pueden adquirir patrones con la frecuencia requerida,

### Autoabsorción de los fotones

- ✓ dificultad para tener un patrón experimental con la misma densidad y composición química elemental (CQE) que las muestras ,
- ✓ no existían estudios previos sobre impacto aislado de la CQE en determinación de concentración de actividad ( $E \leq 60$  keV),
- ✓ no existían estudios previos sobre influencia de correcciones por autoabsorción en datación de sedimentos ( $E \leq 60$  keV).

### Calibración por Transferencia de Eficiencias (TE)

- ✓ no existían estudios previos sobre equivalencia entre códigos de TE (existentes a nivel internacional) para investigar compatibilidad entre ellos (condiciones ideales),
- ✓ no se había estudiado antes la incertidumbre atribuible a las diferentes implementaciones del método de TE.

### Calibración en eficiencias para medidas en el terreno ("in situ")

- ✓ no existe patrón de calibración experimental con las mismas dimensiones y características del terreno ,
- ✓ calibración con fuentes puntuales suele ser proceso largo y difícil: muchas medidas y uso de un gran número de fuentes puntuales (no siempre disponibles en el laboratorio)
- ✓ no existía estudio previo sobre aplicación de códigos específicos de simulación Monte Carlo para estas calibraciones.

En este trabajo se presenta un compendio de diferentes investigaciones realizadas todas con el objetivo de contribuir a la mejora en la determinación de radionucleidos en mediciones desarrolladas utilizando la técnica de Espectrometría Gamma.

¿Contribuciones para la mejora de la aplicación de la técnica de Espectrometría Gamma solamente en nuestro país?

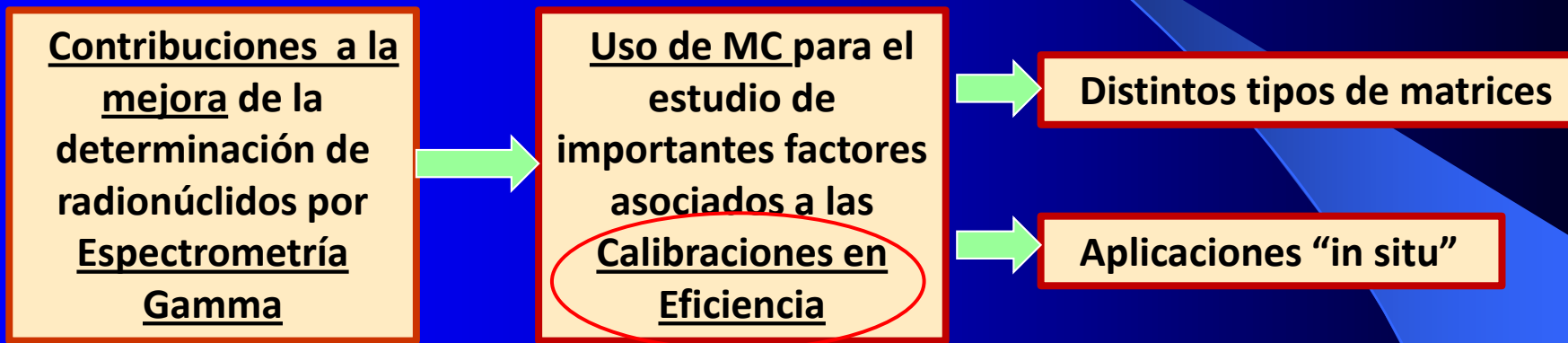
No, no solamente en nuestro país porque se realizan contribuciones en temas con muy pocas, o ninguna, referencias en la literatura internacional dedicada a las mediciones por Espectrometría Gamma .

Los temas tratados son:

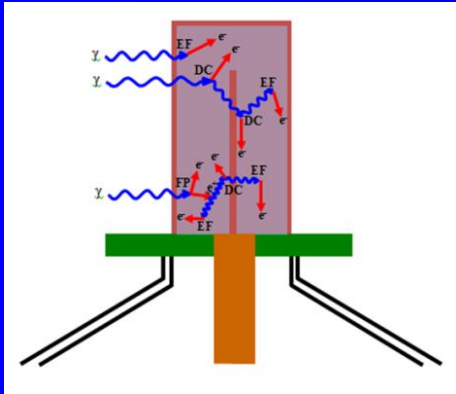
- ✓ de actualidad,
- ✓ su estudio ha sido requerido por la comunidad científica internacional dedicada a las mediciones analíticas realizadas por **Espectrometría Gamma**.



Las contribuciones para mejorar la aplicación de la Espectrometría Gamma están basadas en la aplicación de la simulación Monte Carlo (MC) .

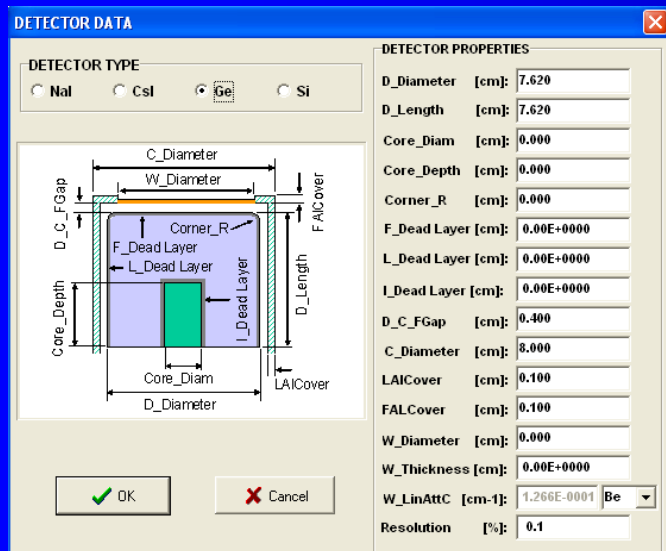


# Aplicación de la simulación Monte Carlo (MC) en Espectrometría Gamma



- ✓ simulación de procesos físicos en el sistema fuente - detector
- ✓ se sigue la historia de cada fotón (origen, interacción, proceso de cada partícula)
- ✓ existen códigos generales y específicos para este fin.

**DETEFF - Programa de simulación MC (diseñado y creado en el CPHR) empleado en las investigaciones incluidas en este trabajo**



- ✓ **código específico** escrito en Borland Delphi 3
- ✓ simulación estadística de **procesos físicos en sistema fuente - detector**
- ✓ **diferentes detectores:** NaI, CsI, Ge y Si.
- ✓ programa fiable, ampliamente validado internacionalmente con medidas experimentales

Tabla 6.1: Instituciones que cuentan con el código DETEFF

Institución	País
Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Avanzadas	Cuba
Instituto Nazionale di fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Frascati	Italia
Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones	Cuba
CIEMAT	España
Jozef Stefan Institute	Eslovenia
Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos	Cuba
Universidad de San José.	Costa Rica
Laboratorio de Ambiente Marino del OIEA en Mónaco	Italia
Centro de Isótopos (CENTIS)	Cuba
Faculty of Physics, Bucharest University	Rumanía
Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear	Cuba
National Center of Scientific Research "Demokritos"	Grecia
FACILIA A.B.	Suecia
Universidad de Extremadura	España
Commissariat à l'Energie Atomique (CEA)	Francia
Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO)	Australia
Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)	Argentina
Universidad de Asunción	Paraguay
Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica	Ecuador
Instituto de Radioprotección y Dosimetría	Brasil
Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN)	Chile
Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias	México
Centre for Energy Research and Training (CERT)	Nigeria
Ahmadu Bello University (ABU)	
Dirección de Asuntos Nucleares	Venezuela
Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas	Guatemala
Ministere de l'Agriculture des Ressources Naturelles et du Developpement Rural	Haiti
Laboratoire Veterinaire et de Controle de Qualite des Aliments	
Chemistry Unit, Agency's Laboratories (IAEA) Seibersdorf	Austria
Department of Physics, University Mentouri Constantine	Argelia
National Academy of Sciences of Ukraine	Ukrania
Department of Nuclear Physics, University of Natural Sciences	Viet Nam

# ¿QUÉ CONTRIBUCIONES EN CONCRETO SE REALIZARON, que constituyen aportes al conocimiento de la técnica de Espectrometría Gamma, y mejoran su aplicación a escala nacional e internacional?

## Estudio de la influencia de la composición química en la determinación de actividad de radionucleidos de baja energía en suelos



Contents lists available at ScienceDirect

Applied Radiation and Isotopes

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/apradiso](http://www.elsevier.com/locate/apradiso)



### The effect of source chemical composition on the self-attenuation corrections for low-energy gamma-rays in soil samples

J. Carrazana González <sup>a,\*</sup>, N. Comejo Díaz <sup>a</sup>, M. Jurado Vargas <sup>b</sup>, E. Capote Ferrera <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Centre for Radiological Protection and Hygiene, Havana, Cuba

<sup>b</sup> Physics Department, University of Extremadura, Badajoz, Spain

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 25 May 2009

Received in revised form

16 September 2009

Accepted 9 October 2009

##### Keywords:

Gamma-ray spectrometry

Efficiency calibration

HpGe detectors

Monte Carlo method

#### ABSTRACT

To study the influence of the source's chemical composition on the self-attenuation corrections during the activity quantification of low-energy gamma-ray emitters ( $< 60$  keV) in soil samples, we conducted a Monte Carlo-based hypothetical proficiency test in which different analytical laboratories analyze a soil sample, assuming the same density but a different chemical composition. The bias in the activity values was between 4% and 70%, with more than 50% of these results being unacceptable. Our work shows that collecting the detailed chemical composition of the samples is an essential issue to be considered by analytical laboratories that use the Monte Carlo method for the calculation of self-attenuation corrections.

© 2009 Elsevier Ltd. All rights reserved.

# Estudio de la influencia de la composición química en la determinación de actividad de radionucleidos de baja energía en suelos

- ✓ Se investigó por primera vez el efecto aislado de la CQE (como parte de las correcciones por autoabsorción) en la determinación de actividad de radionucleidos de baja energía ( $E < 60 \text{ keV}$ ) en muestras de suelo.

CQEs tomadas de [ICRU 53, 1994] - CQEs de suelos reales.

Laboratorios  
analíticos  
diferentes

Miden una misma muestra de suelo, considerando:

- misma  $\rho$
- diferente CQE  
(suelos reales de ICRU)

**Table 1**  
Elementary chemical composition (in % of mass) of soil types used for the test.

Element	Ref. soil	Soil 1	Soil 2	Soil 3	Soil 4
H	2.2	2.2	1.1	10.0	-
C	-	-	1.2	11.4	-
O	57.5	58.2	55.8	78.0	45.2
N	-	-	-	0.4	-
Mg	-	-	-	-	2.5
Al	8.5	10.6	7.2	-	8.3
Si	26.2	26.2	31.6	-	25.0
S	-	-	-	0.2	-
K	-	-	-	-	1.8
Ca	-	-	-	-	4.1
Ti	-	-	-	-	0.7
Mn	-	-	-	-	0.2
Fe	5.6	2.8	3.1	-	12.2

- ✓ Radionucleidos investigados:  $^{109}\text{Cd}$  (24.9 keV),  $^{210}\text{Pb}$  (46.5 keV) y  $^{241}\text{Am}$  (59.5 keV).
- ✓ Los laboratorios miden con el mismo detector y con buena precisión.

# Curvas de Eficiencia obtenidas por los distintos laboratorios, comparadas con la curva de referencia

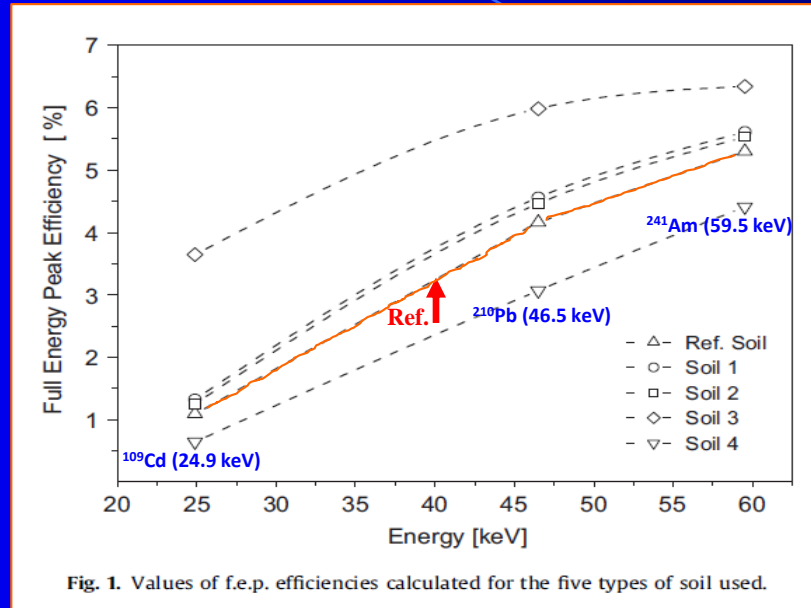


Fig. 1. Values of f.e.p. efficiencies calculated for the five types of soil used.



# Resultados

**Table 5**  
Normalized values for each laboratory and the corresponding proficiency test results.

Laboratory	Radionuclide	$V_{lab}/V_{ref}$	$U_{lab}/V_{ref}$	Rd		Trueness <sup>a</sup>	Final <sup>b</sup> score
				$A_1/V_{ref}$	$A_2/V_{ref}$		
1 (Soil 1)	<sup>109</sup> Cd	0.824	0.041	0.176	0.167	N	W
	<sup>210</sup> Pb	0.913	0.046	0.087	0.175	A	A
	<sup>241</sup> Am	0.945	0.024	0.055	0.089	A	A
2 (Soil 2)	<sup>109</sup> Cd	0.871	0.044	0.129	0.172	A	A
	<sup>210</sup> Pb	0.933	0.046	0.067	0.175	A	A
	<sup>241</sup> Am	0.958	0.024	0.042	0.089	A	A
3 (Soil 3)	<sup>109</sup> Cd	0.300	0.015	0.700	0.135	N	N
	<sup>210</sup> Pb	0.696	0.035	0.304	0.157	N	N
	<sup>241</sup> Am	0.836	0.021	0.164	0.084	N	W
4 (Soil 4)	<sup>109</sup> Cd	1.691	0.085	0.691	0.254	N	N
	<sup>210</sup> Pb	1.357	0.068	0.357	0.218	N	N
	<sup>241</sup> Am	1.201	0.030	0.201	0.101	N	W

<sup>a</sup> N means Not Acceptable, and A means Acceptable.

<sup>b</sup> The Final Score assumes that the test of precision was Acceptable for all laboratories. W means "warning".

✓ Se encontraron desviaciones relativas importantes:

70% - <sup>109</sup>Cd,

36% - <sup>210</sup>Pb,

20% - <sup>241</sup>Am,

en los valores de actividad, solo por el hecho de considerarse una CQE diferente en las correcciones por autoabsorción.

- ✓ Se observó que un número significativo de los valores de actividad aportados por los laboratorios analíticos son "no aceptables" (veracidad) en el ejercicio realizado (Ensayo de Aptitud basado en MC)
- ✓ Se observó que la composición química elemental ( $E < 60$  keV ) tienen una marcada influencia en la exactitud de los resultados obtenidos por los laboratorios analíticos, quedando evidenciado esto en los ejercicios del OIEA (Intercomparaciones y Ensayos de Aptitud).
- ✓ Esta investigación alertó sobre la gran importancia que puede tener este efecto al medir otros tipos de muestras como alimentos de consumo humano.

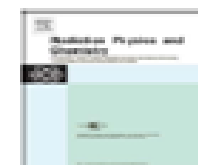
# Estudio de la influencia de las correcciones por autoabsorción en la datación de sedimentos



Contents lists available at [ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

Radiation Physics and Chemistry

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/radphyschem](http://www.elsevier.com/locate/radphyschem)



## Influence of self-absorption corrections in the quantification of $^{210}\text{Pb}$ and $^{241}\text{Am}$ for sediment dating



J. Carrazana González <sup>a,\*</sup>, M. Jurado Vargas <sup>b</sup>, R. Gil Castillo <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Centre for Radiological Protection and Hygiene, Havana, Cuba

<sup>b</sup> Physics Department, University of Extremadura, Badajoz, Spain

### HIGHLIGHTS

- Inaccuracies in sediment dating can be associated to self-attenuation corrections.
- Deviations in the estimation of  $^{210}\text{Pb}$  sediment ages (CRS model) are presented.
- The performance of laboratories in an IAEA proficiency test is evaluated.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 10 March 2016

Received in revised form

10 June 2016

Accepted 16 June 2016

Available online 17 June 2016

#### Keywords:

Gamma-ray spectrometry

Self-attenuation corrections

Sediment dating

HPGe detectors

Monte Carlo method

### ABSTRACT

The nuclides  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{241}\text{Am}$  are used in geochronological studies. In this work, we examine the influence of the sediment chemical composition on the self-attenuation corrections needed for the accurate determination of specific activities for  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{241}\text{Am}$  used for sediment dating. A theoretical exercise was carried out evaluating the relative bias obtained by four different analytical laboratories in the quantification of the  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{241}\text{Am}$  activity concentration by gamma-ray spectrometry. The laboratories considered the same density for the sediment sample, but each one used a different chemical composition in the Monte Carlo calculations, and six different HPGe detectors (including n and p-types). An estimate of the impact that would have the relative biases found in the estimation of the  $^{210}\text{Pb}$  sediment ages, applying the Constant Rate of Supply (CRS) dating model, is also given. In addition, the performance scores that the laboratories would have obtained in a hypothetical IAEA proficiency test are also presented.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

# Estudio de la influencia de las correcciones por autoabsorción en la datación de sedimentos

**Table 1**

Elementary chemical composition (in % of mass) of the sediment types used for the theoretical exercise.

Element	Reference Sediment <sup>a</sup>	Sediment 1 <sup>a</sup>	Sediment 2 <sup>b</sup>	Sediment 3 <sup>b</sup>	Sediment 4 <sup>b</sup>
Fe	3.35	11.3	7.5	1.9	9.08
Mn	0.04	0.08	0.13	0.03	0.14
Ti	0.51	–	1.3	0.33	1.12
Ca	0.83	2.9	7.3	4.6	4.74
K	1.4	1.26	0.2	0.53	0.94

<sup>a</sup> Horowitz and Elrick, 1985

<sup>b</sup> Salazar et al., 2004

- ✓ Se consideraron las composiciones químicas reales de un grupo de sedimentos de diferentes regiones.
- ✓ Se investigó el impacto de las desviaciones de la actividad en la datación de sedimentos con  $^{210}\text{Pb}$  (46.5 keV), empleando el modelo CRS (modelo más usado a nivel internacional).

## Resultados

Radionuclide	Laboratory	B <sub>N-1</sub> (%)	B <sub>N-2</sub> (%)	B <sub>N-3</sub> (%)	B <sub>P-1</sub> (%)	B <sub>P-2</sub> (%)	B <sub>P-3</sub> (%)
<sup>210</sup> Pb (46.5 keV)	1	79.5	75.5	81.7	87.7	85.4	89.5
	2	66.8	64.6	70.0	74.6	72.8	76.1
	3	0.5	0.8	0.8	0.3	0.4	0.4
	4	72.2	68.9	74.9	80.4	78.6	82.6
<sup>241</sup> Am (59.5 keV)	1	45.4	44.2	46.9	48.2	46.1	49.1
	2	39.3	38.0	40.7	41.7	41.2	42.7
	3	0.5	0.3	0.0	0.2	0.3	0.0
	4	42.0	40.9	43.5	44.5	43.0	45.3

- ✓ Se demostró que existen desviaciones relativas importantes en la concentración de actividad de <sup>210</sup>Pb y <sup>241</sup>Am (hasta 89.5% - <sup>210</sup>Pb y 49.1% - <sup>241</sup>Am) cuando varía la CQE del sedimento.
- ✓ Estas desviaciones relativas en la concentración de actividad conducen a importantes desviaciones en la estimación de la edad de los sedimentos (siendo la mayor de **40.6** años).

Radionuclide	Laboratory	D <sub>N-1</sub> (y)	D <sub>N-2</sub> (y)	D <sub>N-3</sub> (y)	D <sub>P-1</sub> (y)	D <sub>P-2</sub> (y)	D <sub>P-3</sub> (y)
<sup>210</sup> Pb (46.5 keV)	1	36.1	34.3	37.1	39.8	38.8	40.6
	2	30.3	29.3	31.8	33.9	33.1	34.6
	3	0.2	0.4	0.4	0.1	0.2	0.2
	4	32.8	31.3	34.0	36.5	35.7	37.5

Edad de los sedimentos por el Modelo CRS

$$t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \left( \frac{A_o}{A_x} \right)$$

# Contribución a la mejora de las calibraciones en eficiencia para la determinación de radionúclidos depositados en el terreno (“in situ”)



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

## Applied Radiation and Isotopes

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/apradiso](http://www.elsevier.com/locate/apradiso)



### Application of the Monte Carlo code DETEFF to efficiency calibrations for in situ gamma-ray spectrometry

J. Carrazana González<sup>a</sup>, N. Cornejo Díaz<sup>a</sup>, M. Jurado Vargas<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> Centre for Radiological Protection and Hygiene, P.O. Box 6195, Habana, Cuba

<sup>b</sup> Departamento de Física, Universidad de Extremadura, 06071 Badajoz, Spain

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 3 June 2011

Received in revised form

10 January 2012

Accepted 20 January 2012

Available online 1 February 2012

##### Keywords:

In situ gamma-ray spectrometry

Efficiency calibration

DETEFF

HPGe detectors

Monte Carlo methods

#### ABSTRACT

We studied the applicability of the Monte Carlo code DETEFF for the efficiency calibration of detectors for in situ gamma-ray spectrometry determinations of ground deposition activity levels. For this purpose, the code DETEFF was applied to a study case, and the calculated  $^{137}\text{Cs}$  activity deposition levels at four sites were compared with published values obtained both by soil sampling and by in situ measurements. The  $^{137}\text{Cs}$  ground deposition levels obtained with DETEFF were found to be equivalent to the results of the study case within the uncertainties involved. The code DETEFF could thus be used for the efficiency calibration of in situ gamma-ray spectrometry for the determination of ground deposition activity using the uniform slab model. It has the advantage of requiring far less simulation time than general Monte Carlo codes adapted for efficiency computation, which is essential for in situ gamma-ray spectrometry where the measurement configuration yields low detection efficiency.

© 2012 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## Contribución a la mejora de las calibraciones en eficiencia para la determinación de radionucleidos depositados en el terreno (“in situ”)

- ✓ Se estudió por primera vez la aplicabilidad de un código específico de simulación MC (DETEFF) para la calibración en eficiencia en la determinación “in situ” de actividad depositada en terreno.
- ✓ Se compararon los resultados obtenidos aplicando DETEFF con las medidas experimentales de muestras de los sitios de interés, y con los resultados obtenidos aplicando otros métodos (semiempírico y MCNP5).
- ✓ Gran importancia para la Respuesta a Emergencias Radiológicas en nuestro país e internacionalmente.

$^{137}\text{Cs}$

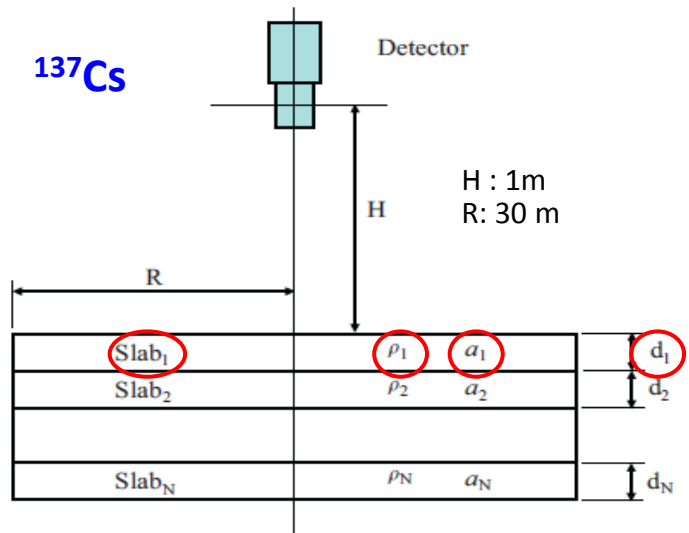


Fig. 1. Model used with the code DETEFF for the calculation of calibration factors for in situ measurements, where  $d_k$ ,  $a_k$ , and  $\rho_k$  denote the thickness, the activity fraction, and the density of the slab  $k$ , respectively.  $H$  denotes the height of the center of the active detector volume above the ground and  $R$  the radius of the cylindrical slabs.

✓ Modelo utilizado para las calibraciones con DETEFF (modelo de capas).

Fórmula establecida para el cálculo de la actividad depositada en el terreno utilizando los resultados de las simulaciones con DETEFF

$$\frac{A_S}{C_r} = \left( \gamma \cdot S \cdot \sum_{k=1}^N \varepsilon_k \cdot a_k \right)^{-1}$$

$A_S$  : deposición de actividad [ $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ ],

$C_r$ : tasa de conteos [ $\text{s}^{-1}$ ],

$\gamma$ : probabilidad de emisión gamma,

$S$ : área medida [ $\text{m}^2$ ],

$\varepsilon_k$ : Eficiencia de pico en la capa  $k$ ,

## Resultados

- ✓ Se demostró que los valores de deposición de actividad calculados con DETEFF son equivalentes a los obtenidos con las medidas experimentales de muestras, y con las determinaciones “in situ” realizadas usando otros métodos (semiempírico y MCNP5).

Table 5

Ground deposition levels obtained using different efficiency calibration methods. Standard uncertainties are presented with a coverage factor of  $k=1$ . The relative differences between the values calculated with DETEFF and the published results are added in parentheses for clarification.

Method	Ground deposition levels ( $\text{kBq m}^{-2}$ )			
	Site A	Site B	Site C	Site D
In situ—Monte Carlo (DETEFF)	$6.18 \pm 1.29$	$11.5 \pm 1.9$	$115.5 \pm 15.4$	$471 \pm 80$
Soil samples <sup>a</sup>	$6.37 \pm 0.85$ (-3.0%)	$11.39 \pm 0.95$ (1%)	$121.3 \pm 8.9$ (-4.8%)	$519 \pm 76$ (-9.4%)
In situ—semi emp <sup>a</sup>	$5.76 \pm 0.97$ (7.3%)	$11.1 \pm 1.7$ (3.6%)	$109 \pm 22$ (6.0%)	$420 \pm 80$ (11.9%)
In situ—Monte Carlo <sup>a</sup>	$6.05 \pm 0.95$ (2.1%)	$11.8 \pm 1.7$ (-2.5%)	$112 \pm 21$ (3.0%)	$464 \pm 85$ (1.3%)

<sup>a</sup> Boson et al. (2009).

- ✓ Las diferencias encontradas están dentro del rango de incertidumbres de las medidas.
- ✓ Se validó (por primera vez) la aplicabilidad de un código específico de simulación MC (DETEFF) para la calibración en eficiencias en la determinación de deposición de actividad en el terreno usando el modelo de capas.
- ✓ Después de este estudio, otros códigos específicos de simulación MC comenzaron a aplicarse también para este tipo de calibraciones.

# Contribución a la mejora de la aplicación del método de Transferencia de Eficiencias en Espectrometría Gamma



Contents lists available at ScienceDirect

## Applied Radiation and Isotopes

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/apradiso](http://www.elsevier.com/locate/apradiso)



### Testing efficiency transfer codes for equivalence

T. Vidmar<sup>a,\*</sup>, N. Çelik<sup>a,b</sup>, N. Cornejo Díaz<sup>c</sup>, A. Dlabac<sup>d</sup>, I.O.B. Ewa<sup>e</sup>, J.A. Carrazana González<sup>c</sup>,  
M. Hult<sup>a</sup>, S. Jovanović<sup>d</sup>, M.-C. Lépy<sup>f</sup>, N. Mihaljević<sup>d</sup>, O. Sima<sup>g</sup>, F. Tzika<sup>h</sup>, M. Jurado Vargas<sup>i</sup>,  
T. Vasilopoulou<sup>h,j</sup>, G. Vidmar<sup>k</sup>

<sup>a</sup> European Commission, JRC, IRMM, Geel, Belgium

<sup>b</sup> Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

<sup>c</sup> Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, La Habana, Cuba

<sup>d</sup> University of Montenegro, Podgorica, Montenegro

<sup>e</sup> Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria

<sup>f</sup> Commissariat à l'Énergie Atomique, Gif sur Yvette Cedex, France

<sup>g</sup> Bucharest University, Bucharest, Romania

<sup>h</sup> National Centre for Scientific Research "Demokritos", Athens, Greece

<sup>i</sup> University of Extremadura, Badajoz, Spain

<sup>j</sup> National Technical University of Athens, Athens, Greece

<sup>k</sup> University Rehabilitation Institute, Ljubljana, Slovenia

Computer Code	ET Implementation		Code Type	
	FEPE	TE	Specialized	General
ANGLE		X	X	
DETEFF 4.2	X	X	X	
EFFTRAN		X	X	
ETNA		X	X	
EGS4	X			X
GEANT 3.21	X	X		X
GESPECOR 4.2	X		X	
MCNP4C	X			X
MCNP5	X			X
MCNPX	X			X
PENELOPE 2003	X			X
PENELOPE 2008	X			X
PENELOPE PENCIL	X			X

- Se investigó, por primera vez, la equivalencia entre los códigos de simulación MC más usados, a nivel internacional, para efectuar calibraciones por Transferencia de Eficiencias en Espectrometría Gamma.

- Este es un tema de gran interés para el OIEA, y para la comunidad internacional dedicada a la Espectrometría Gamma, que no había sido estudiado anteriormente.

La transferencia de eficiencias se realizó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_r(S_i/S_r)$$

$\varepsilon_i$ : Eficiencia en la geometría de interés,

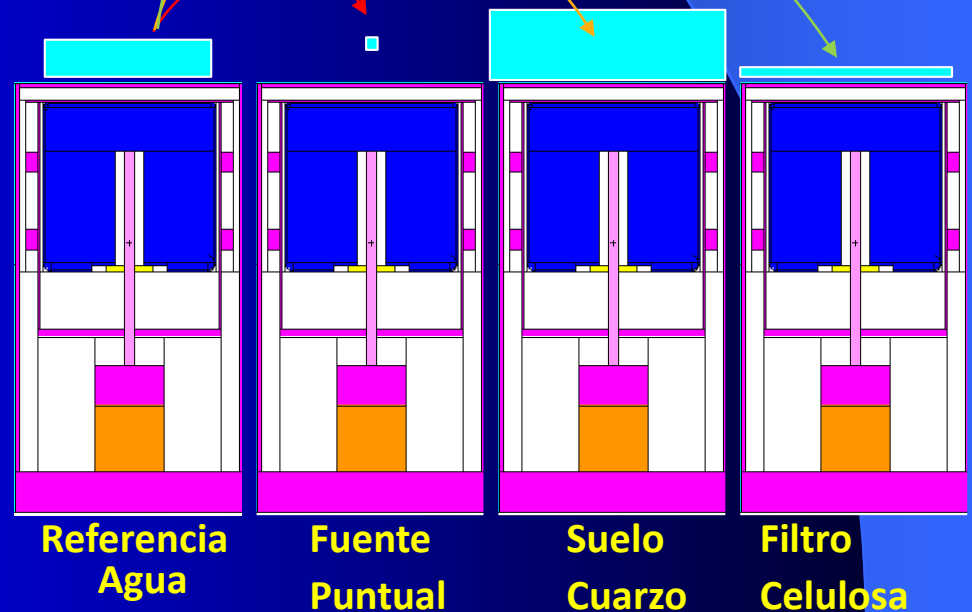
$\varepsilon_r$ : Eficiencia en la geometría de referencia,

$S_i$ : Eficiencia simulada en la geometría de interés,

$S_r$ : Eficiencia simulada en la geometría de referencia.

## Geometrías de medición

Parameter	Reference	Point	Soil	Filter
Sample diameter (including the container)	60	0.0	90	80
Sample height (including the container)	20	0.0	40	3
Sample material	Water	-	Quartz	Cellulose
Container-to-detector-window distance	0.0	1.0	0.0	0.0



# Resultados

## Valores medios de ET para cada Energía

Table 5

The mean value of the ET factors for each energy, detector model and sample type calculated by averaging over all the data sets submitted by the participants.

Energy	Point sample, detector A	Point sample, detector B	Soil sample, detector A	Soil sample, detector B	Filter sample, detector A	Filter sample, detector B
20		3.674		0.087		2.070
45	1.719	2.336	0.283	0.313	0.925	1.370
60	1.897	2.286	0.354	0.379	1.014	1.337
80	2.088	2.279	0.398	0.417	1.110	1.324
120	2.254	2.302	0.438	0.447	1.205	1.317
200	2.265	2.281	0.476	0.478	1.256	1.313
500	2.149	2.164	0.519	0.519	1.256	1.290
1000	2.063	2.082	0.545	0.544	1.247	1.271
2000	1.998	2.009	0.568	0.564	1.237	1.256

- Se demostró la equivalencia de los códigos más empleados internacionalmente ( $E > 45$  keV) para efectuar la Transferencia de Eficiencias .

- La equivalencia demuestra una similitud en los mecanismos de seguimiento de partículas (eficiencia de pico) y de integración (eficiencias absolutas totales) en el rango energético considerado.

## Desviaciones relativas de DETEFF respecto al valor medio

Relative deviations of DETEFF [%] (FEP)						
Energy	Point A	Point B	Soil A	Soil B	Filter A	Filter B
20		0.62		0.98		0.50
45	-0.31	0.03	-0.48	-0.19	-0.88	-0.19
60	-0.28	0.06	-0.86	-0.07	-1.13	0.06
80	0.16	0.14	0.25	0.17	-0.14	0.12
120	0.40	0.32	-0.06	-0.10	-0.45	-0.01
200	0.08	0.52	-0.66	-0.09	-0.73	-0.27
500	0.34	0.77	0.25	0.29	-0.60	-0.38
1000	0.62	0.59	0.00	0.16	-0.34	-0.62
2000	0.71	0.87	0.28	0.46	-0.44	-0.17

- Los resultados obtenidos con DETEFF son muy satisfactorios, la desviación relativa < 1.2% en todos los casos.

- Se validó la aplicabilidad de DETEFF para efectuar calibraciones en eficiencia a través de la Transferencia de Eficiencias.

- Se caracterizó la incertidumbre de la implementación del método.

## Conclusiones

Las conclusiones las constituyen los resultados de las investigaciones que se han ido presentado.

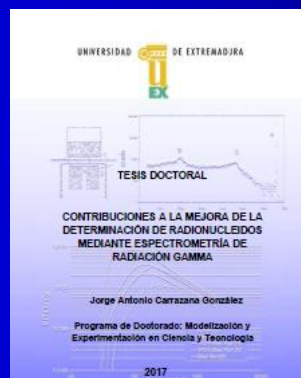
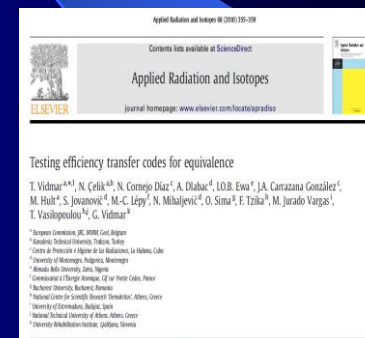
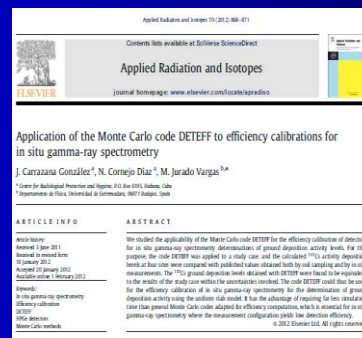
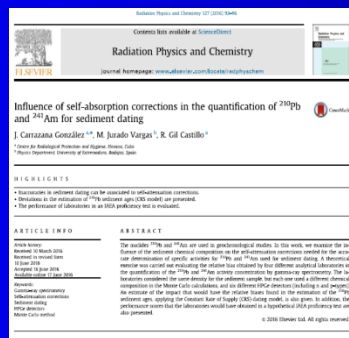
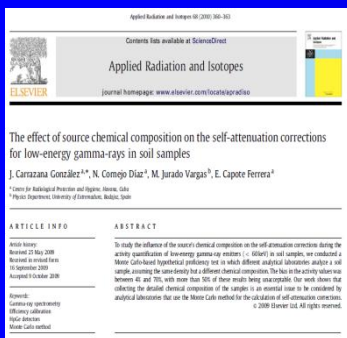
Es de destacar que la mejora de las mediciones analíticas por Espectrometría Gamma a nivel nacional e internacional no significaría nada si no se vincula con el gran impacto que este hecho tiene en:

- la vigilancia radiológica del medioambiente (incluidos los sistemas de alerta temprana, la Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental),
- la respuesta a emergencias radiológicas (donde se requieren estimaciones de actividad depositada en cortos períodos de tiempo),
- la vigilancia radiológica de los alimentos de consumo humano (para que no lleguen alimentos contaminados a nuestra población),
- el desarrollo de estudios medioambientales (para mejorar la calidad de las estimaciones de tasas de erosión, sedimentación, y así mejorar la calidad de los estudios de manejo sostenible de suelos, manejo de recursos hídricos, estudios geocronológicos).

# Este trabajo cuenta, como aval científico, con:

✓ 4 publicaciones en revistas internacionales de impacto en el tema “Nuclear Sciences”

✓ 1 Tesis Doctoral



Todos los estudios realizados, que permiten una mejor aplicación de la técnica de Espectrometría Gamma, son realizados SIN NECESIDAD DE ADQUIRIR patrones experimentales y materiales de referencia certificados con UNA AMPLIA VARIEDAD de matrices, densidades y composiciones químicas elementales.

A modo de ejemplo:

Un set de fuentes puntuales\* (que son una de las fuentes más sencillas en Espectrometría Gamma) puede costar alrededor de 2000 Euros.

Estas fuentes, como otras, necesitan ser renovadas cada cierto tiempo.

\*En el rango energético 40 keV – 2 MeV

## Presentaciones en eventos relacionados con el resultado.

- **Conferencia Internacional sobre Metrología de Radionucleidos y sus Aplicaciones (ICRM 2009). Bratislava. Slovak Republic. September 7 – 11, 2009.**

J. Carrazana González, N. Cornejo Díaz, M. Jurado Vargas, E. Capote Ferrera. *Influence of chemical composition of soil samples in environmental gamma-ray spectrometry.*

- **Reunión Técnica de la IAEA sobre “Intercambio de experiencias, estado actual y guías para la utilización efectiva de la instrumentación nuclear para aplicaciones medioambientales en los Estados Miembros en desarrollo”. Viena, Austria, 17-21 October 2011.**

J. Carrazana González, N. Cornejo Díaz, M. Jurado Vargas. *Use of Monte Carlo simulation for effective utilization of gamma spectrometric systems.*

- **VIII Simposio Internacional Metrología 2011. La Habana, Cuba, 18 – 20 Mayo 2011.**

J.A. Carrazana González; I. M. Fernández Gómez; E. A. Capote Ferrera; G.V. Rodríguez Castro, N. Martínez Ricardo. *Uso de la simulación Monte Carlo en determinaciones analíticas de radionúclidos en muestras ambientales.*

- **IX Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear IRPA 2013. Río de Janeiro, Brasil, 14 -19 Abril, 2013.**

Jorge A. Carrazana González, Eduardo A. Capote Ferrera, Isis M. Fernández Gómez, Gloria V. Rodríguez Castro y Niuris Martínez Ricardo. *Simulación Monte Carlo: Herramienta para la calibración en determinaciones analíticas de radionucleidos.*

- **XI Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear. Congreso Regional IRPA. La Habana, Cuba, 2018.**

Carrazana González, J.A. , Jurado Vargas, M., Capote Ferrera, E.A., Fernández Gómez, I.M. y Gil Castillo, R. *Contribuciones a la mejora de la determinación de radionucleidos por Espectrometría Gamma.*

- **Fórum de Ciencia y Técnica de Base del CPHR. CPHR, 9 – 10 Julio, 2019 (Relevante)**

J.A. Carrazana González; E. A. Capote Ferrera; I. M. Fernández Gómez. *Contribuciones a la mejora de la determinación de radionúclidos por espectrometría gamma.*

- **Fórum de Ciencia y Técnica Municipal. Guanabacoa, 2 de Agosto de 2019 (Relevante)**

J.A. Carrazana González; E. A. Capote Ferrera; I. M. Fernández Gómez. *Contribuciones a la mejora de la determinación de radionúclidos por espectrometría gamma.*

**Gracias**

The image features a dark blue background with a lighter blue curved line starting from the top left and curving towards the right. On the right side, there is a blue shape that resembles a stylized letter 'C' or a partial circle, filled with a lighter blue color. The word "Gracias" is written in a bold, yellow, sans-serif font in the center of the image.