

No. 32, 2002

# nucleus

ISBN 0864-084X

**Publicación semestral**

Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada en Cuba

**Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente**

En éste número:

- **Análisis por activación  
neutrónica instrumental  
de cerámicas de interés  
arqueológico en Cuba**

# SUMMARY

## NUCLEAR OUTLOOK

### Instrumental neutron activation analysis of archaeological pottery in Cuba

*Román Padilla Álvarez, Róger Arrazcaeta Delgado, Pedro Pablo Godo Torres* ..... 4

## NUCLEAR SCIENCES

### Soil radon exhalation measurements

*L.S. Quindós Poncela, P.L. Fernández Navarro, M.L. Bordonoba, J. Gómez Arozamena, C. Sainz Fernández, J. Arteché García* ..... 10

### Radiological evaluation of sediments from the bay of Havana

*A. Gelen Rudnikas, J. Soto Torres, O. Díaz Rizo, M. J. Simón Delgado, J. Beltrán González, M. Ramírez Sasco, E. Herrera Peraza, J. Gómez Arozamena, C. Ródenas Palomino* ..... 16

### Assessment of performance and stability of the IRMA-TSH diagnostic kit

*P. Melo Cala, L. Pizarro Lou, A. Hernández Garcés, J.C. Rodríguez González, M. Teresa Marrero Rodríguez* ..... 22

### Erosion features in Mediterranean landscapes assessed by fallout <sup>137</sup>Cs

*A. Navas Izquierdo* ..... 31

## REGULATORY FRAMEWORK

### Accident initiating events and cobalt therapy in Cuba

*Juan José Vilaragut Llanes, Rubén Ferro Fernández, Bertha Lozano Lima, Andrés de la Fuente Puch, Cruz Duménigo González, Mayra Troncoso Fleitas, Yolanda Pérez Reyes* ..... 38

## SAFEGUARDS AND NON-PROLIFERATION

### The Cuban nuclear program is transparent to the world

*Marta Contreras Izquierdo, Ulises Fernández Gómez* ..... 43

Outstanding results of advances technology and nuclear energy agency in 2002 47

Highly rated nuclear journals (impact factor ratings) ..... 54

Information for authors ..... 55

# SUMARIO

## **PANORAMA NUCLEAR**

### **Análisis por activación neutrónica instrumental de cerámicas de interés arqueológico en Cuba**

*Román Padilla Álvarez, Róger Arrazcaeta Delgado, Pedro Pablo Godo Torres ..... 4*

## **CIENCIAS NUCLEARES**

### **Medida de la exhalación de radón en el suelo**

*L.S. Quindós Poncela, P.L. Fernández Navarro, M.L. Bordonoba, J. Gómez Arozamena, C. Sainz Fernández, J. Arteché García ..... 10*

### **Evaluación radiológica de sedimentos de la bahía de La Habana**

*A. Gelen Rudnikas, J. Soto Torres, O. Díaz Rizo, M. J. Simón Delgado, J. Beltrán González, M. Ramírez Sasco, E. Herrera Peraza, J. Gómez Arozamena, C. Ródenas Palomino ..... 16*

### **Evaluación del funcionamiento y estabilidad del diagnosticador**

#### **IRMA- HTSH**

*P. Melo Cala, L. Pizarro Lou, A. Hernández Garcés, J.C. Rodríguez González, M. Teresa Marrero Rodríguez. .... 22*

### **Evaluación de las características de la erosión en zonas mediterráneas mediante el cesio 137 precipitado**

*A. Navas Izquierdo ..... 31*

## **ÁMBITO REGULATORIO**

### **Sucesos iniciadores de accidentes en la práctica de cobaltoterapia en Cuba**

*Juan José Vilaragut Llanes, Rubén Ferro Fernández, Bertha Lozano Lima, Andrés de la Fuente Puch, Cruz Duménigo González, Mayra Troncoso Fleitas, Yolanda Pérez Reyes ..... 38*

## **SALVAGUARDIAS Y NO PROLIFERACIÓN**

### **El programa nuclear cubano transparente para el mundo**

*Marta Contreras Izquierdo, Ulises Fernández Gómez ..... 43*

### **Resultados destacados de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzadas en el 2002**

*47*

### **Revistas nucleares de impacto**

*54*

### **Instrucciones a los autores**

*55*

## **CONSEJO EDITORIAL**

Doctor en Ciencias Físicas Luis Felipe Desdín García, Master en Ciencias Físico-Matemáticas Manuel Fernández Rondón, Ing. Rubén Ferro Fernández, Doctor en Ciencias Biológicas Omar García Lima, Doctor en Ciencias Químicas José Morín Zorrilla, Master en Ingeniería Nuclear Ramón Rodríguez Cardona.

**Director:** Manuel Fernández Rondón / **Editor Jefe:** Jorge Alvarado Cartaya / **Redactor Técnico:** Marta Contreras Izquierdo / **Edición:** Dulce María García Medina / **Diseño:** Marietta Fernández Martín / **Composición:** Magaly Cruz Jorge / **Fotografía:** Pablo Massip Ginestá / **Traducción:** Lázaro O'Farrill Lazo / **Referencias:** Katia González Sánchez / **Fotomecánica:** Alain Ciérvides Sánchez / **Producción:** Adolfo Estévez González, Ricardo Gavilla Moreno / **Encuadernación:** María Cristina Herrera Rosell / **Canje:** Iraida Oviedo Rivero.

Revista arbitrada. Referenciada en la Base de Datos INIS.

Publicación semestral de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

**Edición e Impresión:** Cubaenergía / Calle 20 No. 4111-4113 e/ 18A y 47, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba, CP 11300/ Apartado Postal 6317 y 6318 / Tel.: (537)2027527 / Fax: (537)204 1188 / c.e.: nucleus@cubaenergia.cu

Inscripta como impreso periódico. Registro Nacional de Publicaciones Seriadadas No. 0061. Inscripta en la Dirección de Correos y Telégrafos con el No. 94021/184.

## ***Nota Editorial***

*Al arribar a su XV Aniversario, Nucleus se ha propuesto reflejar el acontecer nuclear de cara al nuevo milenio.*

*Con esta premisa a partir del No. 30, nuestra Revista ha iniciado una serie de cambios que van desde el diseño hasta las normas de presentación de los artículos.*

*Las normas de presentación tienen el objetivo de facilitar y mejorar el proceso de publicación en Nucleus, y aparecen al final en la sección **INSTRUCCIONES A LOS AUTORES.***

*Este número incluye además los requisitos para la suscripción y anuncios en la Revista.*

*A nuestros lectores actuales y futuros, el deseo de que nos acompañen en los próximos 15 años de Nucleus.*

***Consejo Editorial***

# ANÁLISIS POR ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA INSTRUMENTAL DE CERÁMICAS DE INTERÉS ARQUEOLÓGICO EN CUBA

Román Padilla Álvarez<sup>1</sup>, Róger Arrazcaeta Delgado<sup>2</sup>, Pedro Pablo Godo Torres<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, Ciudad de La Habana, Cuba

<sup>2</sup>Gabinete de Arqueología de la Habana, Oficina del Historiador de la Ciudad, Cuba

<sup>3</sup>Centro de Antropología, Ciudad de La Habana, Cuba

*Palabras clave: neutron activation analysis; ceramics; archaeological specimens; cultural objects; IAEA; international cooperation; Cuba*

## INTRODUCCIÓN

La aplicación de las técnicas analíticas nucleares al estudio de bienes del patrimonio cultural se ha diversificado y generalizado en las últimas dos décadas. Las ventajas de estas técnicas, así como los avances alcanzados en el diseño y fabricación de la instrumentación nuclear y la creciente atención que se brinda al estudio y preservación del patrimonio cultural en los programas nacionales e internacionales en el mundo, han sido las principales causas de la proliferación de programas relacionados con este tema.

Pero estos estudios necesitan de un enfoque interdisciplinario, y en el caso de la Arqueología no se puede obviar este aspecto [1].

De hecho, más que reconocer el empleo de diferentes técnicas instrumentales u otras fuentes de obtención de información para el análisis integral de los problemas de estudio, los proyectos deben estar basados en la participación mancomunada en todas las etapas de la investigación de los especialistas de esos perfiles. Ejemplo de ello fue un Proyecto Coordinado de Investigaciones organizado por el Organismo Internacional de Energía Atómica entre los años 1997 y 2000.

El presente trabajo ilustra los beneficios del empleo combinado de técnicas de estadística multivariada y del Análisis por Activación Neutrónica Instrumental en dos problemas arqueológicos de diferente contexto: el estudio de clasificación de cerámica colonial proveniente de sitios de La Habana Vieja (S. XVII-XIX) y el estudio de la producción y distribución espacial de la cerámica aborígen en la región central de Cuba.

Una descripción detallada del trabajo realizado y los resultados alcanzados aparecen en (IAEA TECDOC,

Introduction of Nuclear Analytic Techniques in Archaeological Researches in Latin America) y en (Padilla, R. y otros, Compositional classification of archaeological pottery based on NAA and SEM-EDX, Journal of Trace and Microprobe Techniques, 02063).

La caracterización de la composición química de diferentes objetos es una herramienta que aporta una información de gran utilidad para la solución de diferentes problemas de estudio [2]. Aunque otras técnicas analíticas se han utilizado para el estudio de la composición química de cerámicas [3,4], el empleo del Análisis por Activación Neutrónica Instrumental (AANI) se ha generalizado por una serie de ventajas. La técnica permite determinar simultáneamente un gran número de elementos con alta precisión y exactitud en concentraciones que van desde el orden de los  $\mu\text{g/g}$  hasta la concentración mayoritaria, con la utilización de procedimientos bien establecidos [5].

Por otra parte, el AANI permite determinar un grupo de elementos más informativos para lograr diferenciar grupos de cerámicas. La mayoría de los elementos que muestran una diferencia marcada durante los procesos de formación de las rocas ígneas, como los elementos de las tierras raras (ETR), el cromo y el torio, se determinan con facilidad. Como estos elementos se concentran durante los procesos de meteorización que llevan a la formación de los depósitos de arcillas, la concentración resultante de estos elementos en las arcillas impone diferencias en la cerámica manufacturada con estos materiales. Otros elementos, como los metales alcalinos y alcalino-térreos están presentes en los feldspatos, que constituyen los minerales más abundantes en la corteza terrestre y que en numerosas ocasiones constituyen una fracción considerable en la pasta de los materiales cerámicos.

## **PROBLEMAS DE ESTUDIO Y MÉTODOS**

En nuestro trabajo se utilizó el logaritmo de los resultados para evitar que las diferencias entre los niveles de concentración de distintos elementos impusieran una influencia o peso diferente en el tratamiento de los datos. Para reducir la dimensionalidad de la matriz inicial de datos se utilizó la extracción de componentes principales. Se aplicó además el método de rotación Varimax para que la carga de las variables originales en cada uno de los componentes extraídos fuera máxima, lo que facilita la interpretación de los datos. Para comprobar la pertenencia de cada muestra a un grupo se calculó la distancia de Mahalanobis.

### **Cerámica colonial**

Desde el siglo XVI, y debido a su privilegiada posición geográfica, La Habana se convirtió en un importante punto de encuentro para la mayoría de los barcos que navegaban entre España y las colonias del Nuevo Mundo. En el siglo XVII el puerto de San Cristóbal de La Habana, con su protegida bahía cerrada, fue declarado como punto de reunión obligatoria de todas las flotas que se dirigían a España con carga proveniente de las colonias, lo que convirtió a la ciudad en el más importante centro comercial y de intercambio cultural de Centroamérica.

Los museos de La Habana conservan importantes colecciones de cerámicas del período colonial. Los trabajos de excavación arqueológica realizados desde 1968 durante las obras de restauración de La Habana Vieja han revelado la presencia de abundantes exponentes de cerámica Mayólica en los antrosos habaneros.

La Mayólica es una categoría distintiva de cerámica vidriada bien conformada, distinguida por una pasta fina cubierta con un vidriado de esmalte opaco estaño-plumbífero. La adición de óxido de estaño al vidriado, que los maestros españoles asimilaron de los moros [6] produce una opacidad que se encuentra también en otros tipos de cerámica de similar tecnología de elaboración, como el *Faience Francés* y el *Delftware* holandés e inglés.

La presencia de la Mayólica se revela en hallazgos que cubren prácticamente todo el período de presencia española en Cuba [7], incluso en sitios correspondientes a los inicios del siglo XVI [8,9]. Varios autores han constatado la presencia de Mayólica en La Habana [7], así como en otras ciudades cubanas, del Caribe y Centroamérica [10-13], con las características atribuidas a los diferentes tipos de Mayólica [6-14], como Isabela Polícromo, Santo Domingo Azul sobre Blanco,

Columbia Simple, Yayal Azul sobre Blanco, Abó Polícromo, San Juan Polícromo, Caparra Azul, Ichtuknee Blue on White, Catalana Azul sobre Blanco, Puebla Polícromo, Puebla Azul sobre Blanco, entre otros.

Un grupo de fragmentos y piezas bien conservadas, hallados durante las excavaciones en la casa de los condes de Santovenia, parecen pertenecer a una tipología de Mayólica no descrita anteriormente [15]. Posteriormente, fragmentos y artefactos similares se encontraron en otros contextos habaneros, y un estudio más exhaustivo se realizó con el objetivo de caracterizar esta nueva tipología [16]. Esta Mayólica se encuentra asociada con otros tipos descritos a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX.

La clasificación tipológica sugiere un origen español, probablemente de los talleres de Sevilla o Cataluña. La caracterización por AANI se utilizó para definir con mayor certeza el origen de estas piezas, al comparar su composición con la de otros tipos de Mayólicas españolas o mexicanas. En este trabajo se analizaron 83 muestras de supuesto origen español o mexicano, las cuales se compararon con los resultados reportados por otro grupo de investigación con anterioridad [17].

Una gran cantidad de fragmentos de cerámica de artefactos de uso ordinario se han hallado en las iglesias y conventos habaneros. Estos fragmentos, por su poco peso y resistencia, eran utilizados como material de relleno para la construcción de las arcadas. Su uso frecuente supone la existencia de talleres en La Habana, de los cuales el material desechado por defectos debía ser suministrado a la construcción. La ocurrencia de fragmentos con diferentes características de acabado parece también corroborar esta hipótesis. El estudio de 25 muestras de estos materiales por AANI se utilizó para revelar su origen y procedencia, así como para identificar posibles centros de manufactura en La Habana.

### **Cerámica aborígen de la región central de Cuba**

Los asentamientos aborígenes más tempranos en Cuba (~ 4000 AC) han sido clasificados como Arcaicos. Estas comunidades, dedicadas fundamentalmente a la recolección, la caza y la pesca, evolucionaron hasta llegar a mostrar evidencias de una agricultura incipiente en los asentamientos más recientes (proto-agricultores). Otras comunidades más recientes que debieron llegar a la isla como resultado de migraciones provenientes del arco de las Antillas Menores, han sido clasificadas como Subtaínos y Taínos [18] y muestran evidencias de tradiciones agricultoras y alfareras. Los Subtaínos

debieron arribar a Cuba durante el siglo VIII, y fueron poblando los territorios desde el este de Cuba hasta llegar a la región central. Su alfarería está asociada con la serie estilística *Meillacoide*, y muestra grados de decoración y acabado menos desarrollados que los de la serie *Chicoide*, correspondiente a las comunidades Taínas más recientes que debieron arribar a Cuba sobre el siglo XII y que se establecieron en los territorios más orientales de la isla.

La variedad geográfica y de recursos de la región central de Cuba fue en extremo favorable para el desarrollo de diversas estructuras económicas y sociales. La región central fue el centro de confluencia de culturas prehispánicas con diferente nivel de desarrollo. Las comunidades subtaínas, que arribaban de los territorios orientales portando fuertes tradiciones agrícolas y alfareras interactuaron con los proto-agricultores establecidos en ellas desde siglos anteriores, y debieron suceder diferentes procesos de contacto y de asimilación de nuevos hábitos y prácticas. La clasificación de la alfarería de la región central en tres variaciones estilísticas, siguiendo los nombres de los territorios en que se hallan se ha descrito en interpretaciones sobre el origen y transformación formal de los temas representados (CELAYA, M., GODO, P.P., Guacanayabo, Jagua, Yucayo, La variación en la cerámica, Centro de Antropología, La Habana, 1998).

Revelar los centros de producción alfarera y estudiar su distribución en la región podría aportar nuevas evidencias a la discusión sobre las interacciones entre las diferentes comunidades. La extrema complejidad de la geología de la región [19] supone que la composición de las arcillas de las diferentes fuentes de abasto pudiera ser en extremo variable.

El análisis de arcillas no fue incluido entre los objetivos de este trabajo por dos causas. Primero, el intenso programa de construcción de embalses ha provocado que muchas de las posibles fuentes de abasto hayan podido quedar sumergidas. Segundo, el uso de las instalaciones de los reactores nucleares en instituciones de otros países impone una limitación severa al número total de muestras a analizar.

Como la composición de la cerámica constituye en último término la fuente más informativa, nuestro trabajo se fundamentó en correlacionar las diferencias entre los posibles grupos de cerámicas con las inferencias que se pudieran hacer de la geología de los territorios. Fueron analizadas 228 muestras de fragmentos cerámicos provenientes de las colecciones de diferentes museos, correspondientes a 15 sitios clasificados como agroalfareros y a 12 asentamientos como proto-agricultores (figura 1).

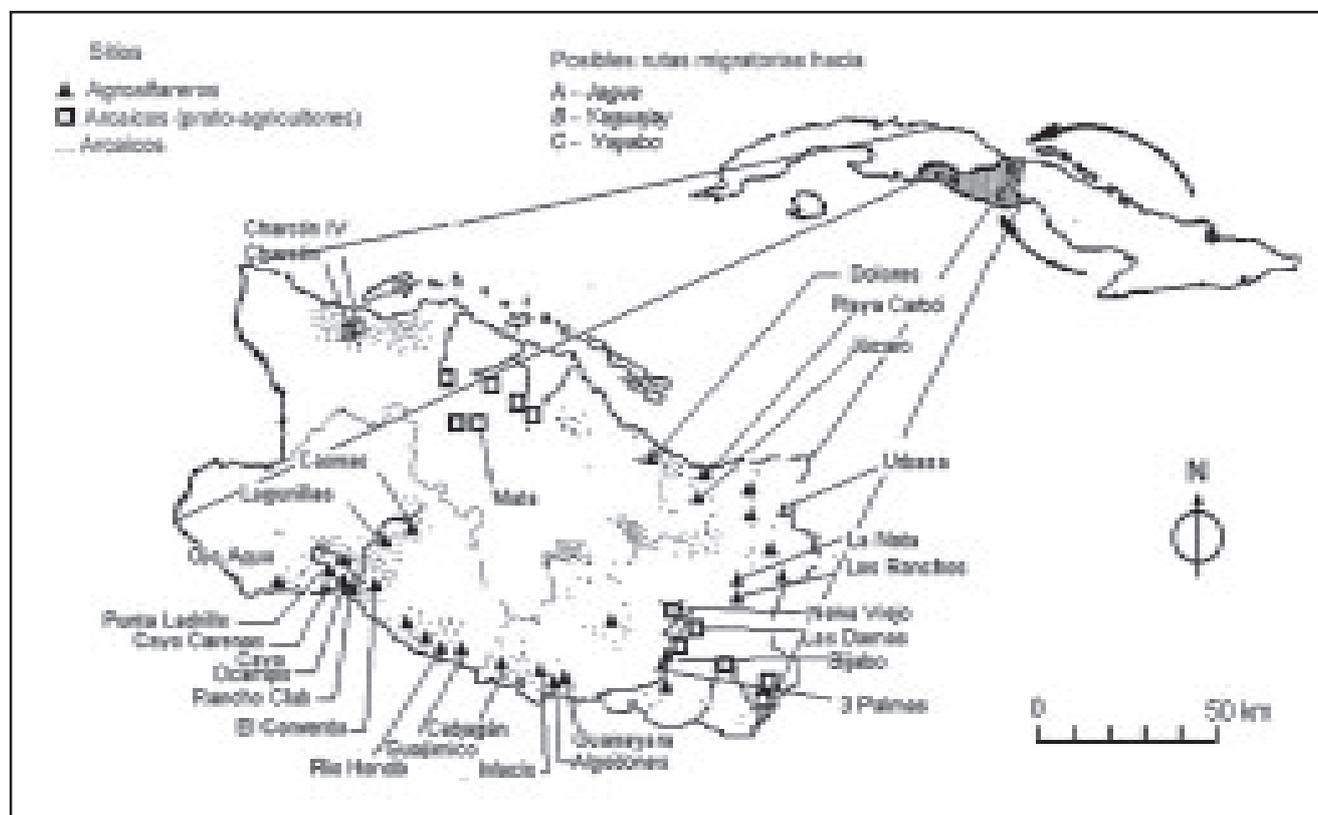


Figura 1. Distribución de los asentamientos aborígenes estudiados en la región central

**RESULTADOS OBTENIDOS**

**Clasificación de la cerámica colonial**

La interpretación estadística de los resultados obtenidos permitió arribar a una serie de inferencias. En primer lugar, más del 90% de la clasificación tipológica hecha con anterioridad resultó acertada. La mayor parte de las muestras analizadas revelaron una composición semejante a las de similar tipología analizadas por Olin [17], lo que se evidencia en la figura 2. Sólo algunas muestras, que habían sido clasificadas como pertenecientes a la tipología Sevilla Azul sobre Azul correspondieron a la de Liguria italiana, de similar decoración.

La presencia de cuarzo, biotita y moscovita en el material antiplástico usado en la producción de Mayólicas en España [20], así como de materiales volcánicos en la producción mexicana [21] es la fuente de variaciones en las concentraciones de Rb, Cs y Th y Hf constatadas.

La inspección de la ubicación de las muestras del tipo Santoventia en el espacio tridimensional formado por los componentes principales extraídos evidencia su origen español.

El análisis de los fragmentos de piezas ordinarias mostró que su composición no permite adjudicarlas a ninguno de los tipos o centros de producción estudiados en España y México. Al parecer la actividad de manufactura de cerámica para uso corriente existió en La Habana o en sus inmediaciones, y utilizó materias primas de diferente origen y naturaleza (figura 2). Sólo en el caso de pocos fragmentos, se constataron similitudes en la concentración con las de algunas de las muestras estudiadas de Puebla. Existe evidencia documental que registra la importación a La Habana de arcilla proveniente de México para su uso en los talleres locales, lo que podría ser la causa de esta semejanza. No obstante, la poca cantidad de fragmentos analizados no permite arribar a una conclusión definitiva.

**Estudio de la cerámica aborígen**

El análisis de los fragmentos correspondientes a los sitios ubicados en la región de Jagua reveló diferencias en la composición de la pasta, que sirvieron para establecer tres grupos o unidades composicionales (figura 3). La fuente de esta variabilidad parece estar en la diversidad geológica de la región [19], y las diferencias observadas se correlacionan muy bien con las características esperadas en las arcillas de los entornos en que se enclavan las posibles fuentes de abasto utilizadas.

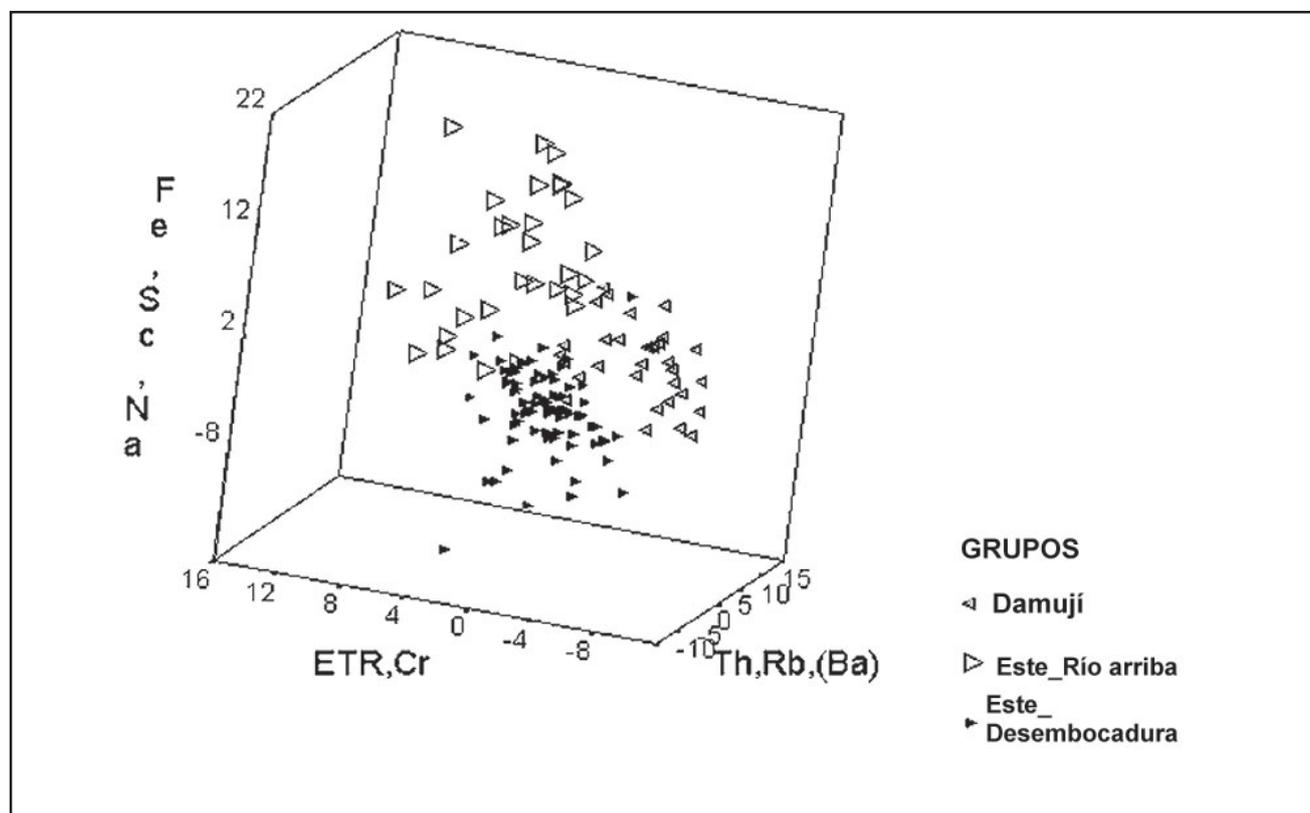


Figura 2. Posición de los resultados correspondientes a las muestras de cerámica colonial en el espacio tridimensional de los componentes principales extraídos.

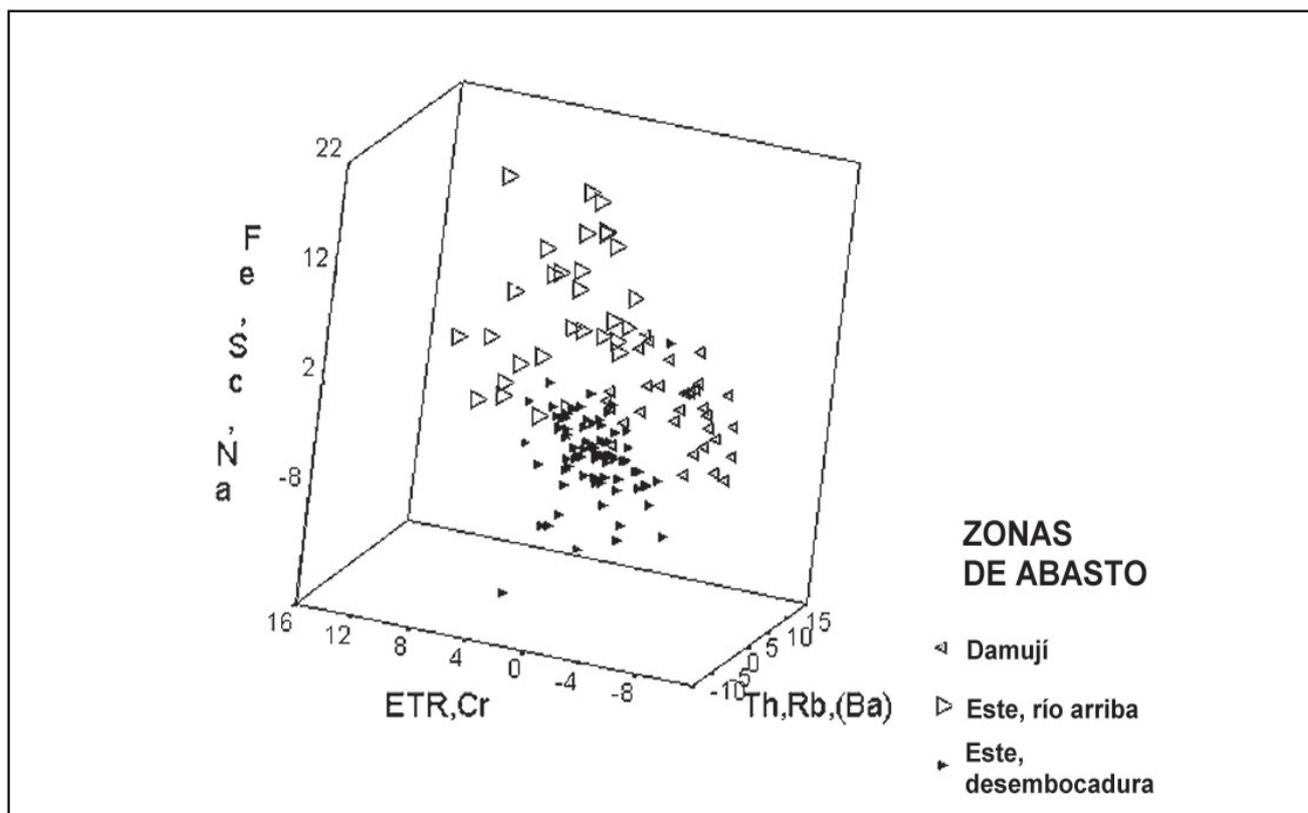


Figura 3. Ubicación de los resultados correspondientes a las muestras de cerámica aborigen de la región de Jagua en el espacio tridimensional de los componentes principales extraídos.

El análisis de la proporción de muestras correspondientes a estos grupos en cada uno de los sitios estudiados supone una serie de conclusiones:

- En las 30 muestras analizadas (correspondientes a tres niveles estratigráficos) del sitio El Covento, descrito como un lugar de gran ocupación e incluso como un posible cacicazgo mayor [22] están representados los tres grupos, lo que corrobora la importancia del sitio y su intercambio con otras comunidades. En las muestras del nivel más reciente se observó una mayor proporción del tipo Este-Río arriba, entre las cuales se encontró un fragmento de asa que representa el rostro de un hombre blanco (casco y barba). Esta evidencia sugiere que la producción alfarera se pudo haber desplazado paulatinamente hacia comunidades localizadas río arriba.

- En otros dos sitios en que se analizaron fragmentos correspondientes a tres niveles estratigráficos (Ojo de Agua y Cayo Ocampo) se observaron proporciones diferentes. En el caso de Cayo Ocampo la inmensa mayoría de los fragmentos correspondieron al tipo Este-Desembocadura, lo que sugiere que esta comunidad o bien utilizó sostenidamente los depósitos de arcilla de las desembocaduras de los ríos Arimao y Caunao, o que adquirieron su

alfarería sólo de otras comunidades que así lo hacían. En Ojo de Agua se observa una preponderancia de muestras del tipo Damují en el nivel más profundo, y la proporción de los otros dos tipos se incrementa con el tiempo. Ello pudiera ser un indicador del establecimiento de esta comunidad y su progresivo intercambio con las de la margen este de la bahía.

- En los sitios proto-agricultores de Lagunillas y Caunao sólo se observan muestras del tipo Este-Río arriba. Es muy probable que estas comunidades hayan adquirido hábitos de práctica alfarera y desarrollado esta actividad con recursos locales.

- La composición de las muestras del sitio La Mata, por el contrario, revelan que no se pudieron producir con materias primas locales, e indican que probablemente fueron adquiridas de otras comunidades subtaínas. El alcance de este intercambio debió ser de más de 40 km, distancia entre los sitios de la zona de Jagua o de la zona de Yaguajay, y los de las muestras cuya composición se asemeja a la de los fragmentos de La Mata.

- Las muestras de las regiones de Yaguajay y Yayabo son fácilmente diferenciables entre sí, pero la escasez

de muestras no permitió arribar a hipótesis más específicas. No obstante, la extrema diversidad de la geología de los macizos de las sierras de Bamburanao, Meneses y Jatibonico permitiría realizar numerosos estudios de este tipo.

### CONCLUSIONES

La aplicación del AANI permitió revelar información relevante para arribar a una serie de conclusiones arqueológicas. La rica variabilidad geológica de nuestro territorio constituye una cantera aún no explorada en la composición química de nuestra cerámica aborígen, que facilitaría en gran medida la interpretación de numerosos contextos arqueológicos e históricos.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BISHOP, R.L., CANOUTS, V., DE ATLEY, S. P., QÖYAWAYMA, A., AIKINS, C.W., The formation of Ceramic Analytical Groups: Hopi Pottery Production and Exchange, A.C. 1300-1600, *Journal of Field Archaeology*, Vol. 15 (1988)317-337.
- [2] HARBOTTLE, G., Chemical characterization in Archaeology, en *Contexts for Prehistoric Exchange*, Earle T.K., Erickson J.E., Eds., Academic Press Inc., New York, (1982)13-51.
- [3] BRISSAUD, I. y otros, Pottery analysis using PIXE, neutron activation, scanning electron microscopy and X-ray fluorescence techniques, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Articles*, Vol. 89, No.2 (apr. 1985)473-486.
- [4] BIRGUL, O. y otros, A comparison of the statistical treatment of results using concentrations of elements determined by neutron activation and X-ray fluorescence analysis methods *Journal of Radioanalytical Chemistry Hungary*, Vol. 55, No. 1 (1980)101-109.
- [5] Practical aspects of operating a neutron activation analysis laboratory, IAEA-TECDOC-564, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1990.
- [6] GOGGIN, JOHN M., Spanish Majolica in the New World: Types of the sixteenth to eighteen centuries., Publish. By the Department of Anthropology, Yale Univ., New Haven, 1968.
- [7] ROMERO ESTÉBANEZ, L.S., *La Habana Arqueológica y otros ensayos*, Ed. Letras Cubanas, La Habana, (1995)243.
- [8] PRAT PUIG, F., Significado de un conjunto cerámico hispano del siglo XVI de Santiago de Cuba, Ed. Oriente, Santiago de Cuba (1980)147.
- [9] DOMÍNGUEZ, L., La transculturación en Cuba (siglos XVI - XVII), (33-50 en *Cuba Arqueológica I*, Ed. Oriente, Santiago de Cuba (1978)271.
- [10] LISTER, F.C., LISTER, R.H., Majolica in Colonial Spanish America, *Historical Archaeology, Journal of the Society for Historical Archaeology*, Vol. VIII (1974)17-53.
- [11] PAYARÉS, R., Informe de los trabajos de salvataje en el Morrillo, 77-90 en *Cuba Arqueológica II*, Ed. Oriente, Santiago de Cuba (1980)238.
- [12] DOMÍNGUEZ, L., *Arqueología colonial cubana: Dos estadíos*, Ed. Ciencias Sociales, La Habana (1984)112.
- [13] LÓPEZ CERVANTES, G., *Cerámica Colonial en la Ciudad de México*, Colección Científica, Arqueología, No. 38, INAH, México (1976)68.
- [14] DEAGAN, K., *Artifacts of the Spanish Colonies of Florida and the Caribbean, 1500 –1800*, Vol. 1, Smithsonian Institution Press, Washington DC, London, 1987.
- [15] ARRAZCAETA, R., Estudio de la cerámica de una letrina en la casa de los condes de Santovenia. Ponencia presentada en el VI Simposium de la Cultura de La Habana, noviembre, 1989.
- [16] HERNÁNDEZ OLIVA, C.A., ARRAZCAETA, R., Reporte de un nuevo tipo de Mayólica del período colonial de Cuba. Ponencia presentada en el VIII Simposium de la Cultura de La Habana, noviembre de 1992.
- [17] OLIN J. S., BLACKMAN, M. J., *Compositional Classification of Mexican Majolica Ceramics of the Spanish Colonial Period*, *Archaeological Chemistry IV*, American Chemical Society, Washington D C(1989)87-112.
- [18] ROUSE, I., *Archaeology of the Maniabon Hills, Cuba*. Anthropology, Yale University: New Haven (1942)26.
- [19] Mapa geológico de la República de Cuba, Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología, Escala 1/250 000, ed. Instituto de Geología de la Academia de Ciencias de la URSS, H-2111, Hojas 13 (F 17-8) y 21 (F 17-12).
- [20] OLIN J. S., HARBOTTLE, G., SAYRE E. V., *Elemental composition of Spanish and Spanish-Colonial Majolica Ceramics in the identification of Provenience*, in Carter G. F. Ed. *Archaeological Chemistry II*, 200-229, *Advances in Chemistry Series 171*, American Chemical Society, Washington D C, 1978.
- [21] OLIN, J. S., MYERS, J. E., *Old and New World Spanish Majolica Technology*, *MRS Bulletin*, Vol. XVII, No.1, January (1992)32-38, ISSN 0883-7694.
- [22] DOMÍNGUEZ, L., *Arqueología de Centro-Sur de Cuba*, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana (1991)102.

# MEDIDA DE LA EXHALACIÓN DE RADÓN EN EL SUELO

L.S. Quindós Poncela<sup>1</sup>, P.L. Fernández Navarro<sup>1</sup>, M.L. Bordonoba<sup>2</sup>, J. Gómez Arozamena<sup>1</sup>, C. Sainz Fernández<sup>1</sup>, J. Arteche García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Física Médica, Facultad de Medicina, Universidad de Cantabria, Santander, España

<sup>2</sup>Empresa Nacional del Uranio, Saelices el Chico, Salamanca, España

## RESUMEN

Se presenta una metodología a seguir para la medida de la exhalación de radón procedente de los suelos a partir de la absorción de este en cartuchos de carbono activo e incluye procedimientos para su correcta calibración. La aplicación de esta metodología en zonas uraníferas ya restauradas pone de manifiesto su eficacia cuando se trata de caracterizar grandes extensiones de terreno.

## SOIL RADON EXHALATION MEASUREMENTS

### ABSTRACT

A methodology for the measurement of radon exhalation rate coming from soils by using charcoal activated is shown in this paper. Calibration procedures are also discussed. Data of exhalation rate in the vicinity of an uranium region area are referred showing the benefit of the method proposed when wide surfaces of terrain must be analyzed.

*Palabras clave: radon; exhalation; radiation doses; Spain; soils; radiation monitoring; natural uranium*

## INTRODUCCIÓN

En la naturaleza, el radón, elemento de la familia radiactiva del  $^{238}\text{U}$ , es el origen de más del 50% de la dosis recibida por la población por exposición a fuentes naturales de radiación ionizante. El valor medio de la dosis en áreas de fondo normal es de 1,2 mSv por año, y puede alcanzar hasta los 10 mSv por año en algunos lugares [1].

Las zonas uraníferas donde se realizan operaciones de extracción y tratamiento de minerales de uranio poseen características geológicas relacionadas con la existencia en el suelo de abundantes elementos de la familias radiactiva del  $^{238}\text{U}$ . Esta abundancia produce una tasa de exposición proveniente del suelo y una concentración de algunos radioelementos en los alimentos, en el agua y en el aire, superiores a los valores promedio; lo que se define, en algunas ocasiones como zonas de alto nivel de radiación [2]. Entre los elementos existentes en el aire se encuentra el gas radiactivo radón, que sale del terreno en mayor o menor proporción en dependencia de su concentración en  $^{226}\text{Ra}$  y de las propiedades del suelo en cuanto a la difusión del gas [3].

El radón que se exhala del terreno se puede acumular en el interior de las viviendas de estas regiones, lo que produce dosis de radiación por inhalación a sus residentes que pueden alcanzar valores elevados [4]. Por ello, el conocimiento de las tasas de exposición debidas al radón adquiere gran importancia, ya que es necesario evaluar el impacto derivado de estas operaciones frente a la exposición debida al propio fondo natural, el cual sirve, además, de referencia para las operaciones de clausura y restauración de los terrenos afectados por las labores mineras, una vez que han cesado las actividades productivas.

El impacto que puede producir el radón exhalado al ambiente debido a su posible acumulación en locales próximos hace que existan distintas normativas que limitan su valor, de las cuales la más empleada es la que fija en  $2664 \text{ Bq/m}^2 \text{ h}$  [5]. Para alcanzar el valor de la exhalación de radón por las eras de mineral se recubren estas con capas de material, con un valor pequeño del coeficiente de difusión que disminuye la salida del gas a la atmósfera. La protección radiológica está dirigida a la adopción de medidas para

limitar la salida de radón de las eras, y su efectividad sólo puede ser evaluada a través de la medida sistemática de la exhalación en ellas.

En este trabajo se presenta una descripción de la aplicación práctica de un proceso de calibración puesto a punto en la Universidad de Cantabria para un método de medida de la exhalación de radón bien establecido en este campo, y que estudia su idoneidad para utilizarlo principalmente en la restauración de zonas en las que se han desarrollado trabajos de extracción de uranio.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El método empleado para realizar la medida de la exhalación de radón incluye la absorción de este en carbón activado, colocado en un colector apropiado. Este procedimiento, para diferentes geometrías de colectores, se ha empleado extensivamente desde la publicación del artículo de Countess [6] y consiste en colocar el colector sobre la superficie del suelo a medir lo que permite que el carbón activado absorba el radón contenido en él por un período de tiempo, que generalmente es de 24 horas. Pasado ese tiempo, el radón acumulado en el carbón se mide por espectrometría gamma, la cual aporta datos que guardan relación directa con la exhalación de radón del suelo que se pretende determinar.

El colector empleado en nuestro laboratorio, aparece en la figura 1 y en él se colocan, aproximadamente, 20 gramos de carbón activado.

Para la medida de la exhalación de radón en el terreno, los colectores se despliegan en bloques de tres, que cubren una superficie de un metro cuadrado; se identifica el punto elegido por sus coordenadas geográficas, así como el tiempo del comienzo de la exposición, y aproximadamente 24 horas después se retiran los colectores. A continuación, el carbón activado se sella con unas tapas que impiden la salida del radón, el cual alcanzará el equilibrio con sus descendientes a las cuatro horas y estará preparado para su análisis en el laboratorio.

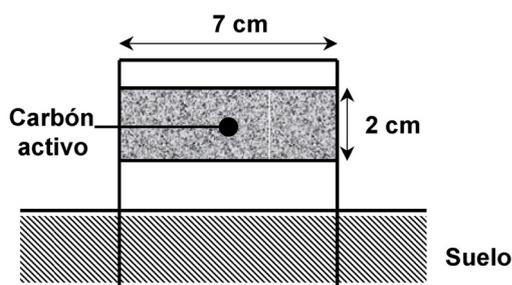


Figura 1

La cantidad de radón adsorbida en el carbón activado se determina por espectrometría gamma a partir del pico de 609 KeV del  $^{214}\text{Bi}$  y triplete del  $^{214}\text{Pb}$ , ambos descendientes del radón. El sistema de espectroscopía gamma consiste en un cristal de NaI(Tl), un tubo fotomultiplicador, un amplificador, y un contador de impulsos.

El método de medida de la exhalación de radón propuesto incluye dos supuestos básicos. Primero, que el carbón activado es 100% eficaz para retener el radón, lo cual para períodos de tiempo cortos (< 36 horas) este supuesto es considerado válido [7], ya que el carbón activado no puede ser 100% eficaz si se usan tiempos de la exposición más largos. El factor principal que afecta la eficacia del carbón de leña para la colección del radón es la temperatura.

Segundo, que la exhalación de radón procedente del suelo medido es constante para todo el período de exposición y, aunque se conoce que esta condición raramente se da, los errores introducidos derivados de su aceptación son pequeños.

Una vez fijada la geometría de la muestra de carbón activo empleada para la medida de la exhalación de radón (figura 1), el contenido de radón absorbido en ella es función no sólo de la exhalación del suelo sobre el que se asienta y del tiempo de exposición empleado, sino también del valor que toma el coeficiente de difusión efectivo del gas en el carbón.

Este coeficiente depende básicamente del tipo de carbón activado utilizado (granulometría, textura, porosidad, densidad) y de la capacidad de absorción del radón, caracterizada por el coeficiente de absorción que, a su vez depende, fundamentalmente del contenido de humedad de la muestra.

En ausencia de ganancia de humedad, y al cabo de un tiempo de exposición  $T$  suficientemente grande (en la práctica del orden de 4-5 días para un espesor de la muestra de unos 2 cm), el contenido total de radón absorbido en el carbón activado seco tiende a alcanzar un valor de equilibrio de  $Q_0(\infty)$  cuyo valor, una vez resuelta la ecuación general de difusión del radón en la muestra de carbón empleada, tiene la siguiente expresión:

$$Q_0(\infty) = \frac{E \cdot S}{\lambda} \left( 1 - \text{sech} \left( \frac{\lambda}{D_0} \right)^{0.5} \cdot d \right) \quad (1)$$

donde  $E$  es la exhalación de radón por unidad de superficie,  $S$  la superficie de exposición,  $\lambda$  es la constante de desintegración del radón,  $d$  el espesor del techo de carbón activado en el interior del cartucho que contiene la muestra y  $D_0$  el coeficiente

de difusión efectivo del  $^{222}\text{Rn}$  en la muestra seca de carbón activado.

La calibración del método de medida de la exhalación de radón mediante carbón activado se realiza en el laboratorio a partir de una muestra homogénea de suelo seco, extendida en forma de capa de espesor uniforme, aproximadamente de unos 10 cm, en el interior de un cajón rectangular de madera de área suficientemente grande (a efectos prácticos, un valor en torno a 0,5 m<sup>2</sup> resulta apropiado).

Sobre la zona central de la superficie de la muestra de suelo se dispone de una serie de cartuchos de carbón activado seco, cada uno de los cuales se deja expuesto durante un período de tiempo diferente con el objetivo de analizar la variación de la cantidad de radón absorbida con el tiempo de exposición.

Una vez retirado cada cartucho de carbón y alcanzado el equilibrio radiactivo entre el radón absorbido en él y sus descendientes de vida corta, la determinación de la actividad del gas retenida en el carbón se realiza por espectrometría gamma, a partir del recuento global de las emisiones registradas en la zona del espectro que abarca el triplete del  $^{214}\text{Pb}$  y el fotopico de 609 KeV del  $^{214}\text{Bi}$ . La eficiencia del método espectrométrico de medida se logra con el empleo de un cartucho de carbón activado sellado, de la misma geometría que los empleados en la medida de la exhalación, en cuyo interior se halla disperso un volumen conocido de una solución patrón de  $^{226}\text{Ra}$  con una actividad total de 737 Bq.

El cálculo específico de la actividad de  $^{222}\text{Rn}$  absorbida en el carbón activado después de un tiempo de exposición T se realiza por medio de la expresión:

$$Q(T) = \frac{\lambda \cdot N \cdot e^{-\lambda \cdot t_d}}{\epsilon \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_c})} \quad (2)$$

donde:

N: número neto de cuentas registrado en la zona del espectro analizada.

$\epsilon$ : eficiencia de detección del método espectrométrico en cpm/Bq.

$\lambda$ : constante de desintegración radiactiva del  $^{222}\text{Rn}$  expresada en min<sup>-1</sup>.

$t_c$ : tiempo de conteo empleado.

$t_d$ : tiempo transcurrido desde el final de la exposición del cartucho de carbón hasta el comienzo de su conteo, ( $t_c$  y  $t_d$  expresados ambos en minutos).

A partir de los resultados experimentales obtenidos en este proceso de calibración, se puede establecer la dependencia funcional que presenta el contenido de radón absorbido en el carbón con el tiempo de exposición t, y se ajustan los resultados mediante el método de regresión de mínimos cuadrados a una ecuación del tipo:

$$Q_0(\infty) - Q_0(T) = A e^{-B \cdot t} \quad (3)$$

A partir de las constantes A y B resultantes del ajuste anterior se pueden estimar tanto el coeficiente de difusión efectivo,  $D_0$  del  $^{222}\text{Rn}$  en el carbón activado seco como la exhalación por unidad de área E, del suelo empleado en la calibración. El valor de esta última constituye un índice válido de la bondad del proceso de calibración realizado, ya que puede ser contrastado con el obtenido por algún otro método de medida de la exhalación (método del acumulador) [8,9], así como el predicho en la teoría, teniendo en cuenta el contenido de  $^{226}\text{Ra}$  y las características físicas y geométricas de la muestra de suelo considerada a través de las expresiones siguientes:

$$E = R \eta \rho \sqrt{\lambda D} \exp(\sqrt{\lambda / D} \cdot T) \quad (4)$$

donde:

E= exhalación de radón por unidad de área, pCi/cm<sup>2</sup> s.

R= concentración de radio 226 en el suelo patrón, pCi/g.

$\eta$  = poder de emanación del suelo patrón, %.

$\rho$  = la densidad de volumen del suelo patrón, g/cm<sup>3</sup>.

$\lambda$  = constante de desintegración del radón  $2,1 \times 10^{-6}\text{s}^{-1}$ .

D = coeficiente de difusión eficaz, cm<sup>2</sup>/s.

T = espesor del suelo patrón, cm.

Para una fuente delgada, la ecuación (4) se reduce a:

$$E = R \eta \rho \lambda T$$

En el caso más general de la medida *in situ* de la exhalación de radón de un suelo, la masa de carbón activado absorberá también una determinada humedad (h) durante el tiempo (T) de exposición. En estas condiciones, una vez analizada por espectrometría gamma la muestra de carbón recogida, la determinación de la exhalación se llevará a cabo mediante la expresión general:

$$E = \frac{\lambda^2 \cdot N \cdot e^{-\lambda \cdot t_d}}{\epsilon \cdot S \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_c}) \cdot CF(h)} \quad (5)$$

donde  $CF(h)$  es un factor de calibración que, para un tiempo de exposición dado, depende fundamentalmente de la humedad retenida en el carbón.

Fijando un determinado tiempo de exposición, el estudio de la dependencia funcional del factor  $CF$  con el contenido de humedad del carbón se realizó en el laboratorio, con una serie de cartuchos de carbón activado de diferentes contenidos de humedad sobre la superficie del suelo de calibración. El contenido variable de humedad en los cartuchos se obtiene introduciéndolos en un recipiente herméticamente cerrado, saturado de vapor de agua, y manteniéndolos en su interior durante diferentes períodos de tiempo comprendidos entre las 3 y las 72 horas. El tiempo de exposición recomendado en la mayoría de los protocolos internacionales sobre medida de exhalación de radón mediante carbón activado es de 24 horas, período durante el cual, se ha podido comprobar, que la humedad ganada inicialmente por los cartuchos de carbón se mantiene prácticamente constante.

A partir de las actividades de radón medidas en los distintos cartuchos al cabo de un tiempo de exposición de 24 horas, se obtiene la ecuación de regresión que traduce la relación funcional del factor de calibración  $CF(h)$  con el contenido de humedad del carbón, como se muestra en la figura 2. Esta ecuación permite estimar el correspondiente factor de calibración  $CF(h)$  a aplicar en cada medida concreta de exhalación *in situ*, teniendo en cuenta solamente el valor promedio de la humedad ganada por el carbón activado durante las 24 horas que permanece expuesto sobre el suelo analizado.

Para estimar un promedio estadísticamente válido de exhalación de radón en un suelo, se deben medir en un número apropiado de puntos de este en dependencia de la homogeneidad del suelo y la precisión deseada de la estimación. Para fijarlo se pueden emplear técnicas estadísticas normales [10] o más complejas como las que aparecen en el documento NUREG 1505, 1997 [11] y que aplicamos en nuestro laboratorio. El procedimiento operativo para realizar estas medidas aparece recogido a continuación:

1. Asegurar que la ubicación del lugar de medida esté nivelado y libre de piedras grandes y vegetación.
2. Poner el colector sobre el suelo e insertar el borde de la tapa o cápsula firmemente en la tierra con el cuidado de no empujarlo demasiado y tratar que el espacio entre la superficie que se mida y el carbón activado sea mínimo.
3. Anotar la situación (GPS), No. de identificación de cada uno de los tres colectores empleados por punto, fecha y hora de colocación.
4. Dejar el colector aproximadamente 24 horas.
5. Quitar los colectores, anotar la hora de recogida, pesarlos para conocer el incremento de humedad y sellarlos con las tapas que impidan el escape de radón.
6. Transportar los colectores al laboratorio de radiactividad ambiental de la Universidad de Cantabria y realizar la medición por espectrometría gamma de la actividad en el colector según el protocolo seguido por esa Universidad.

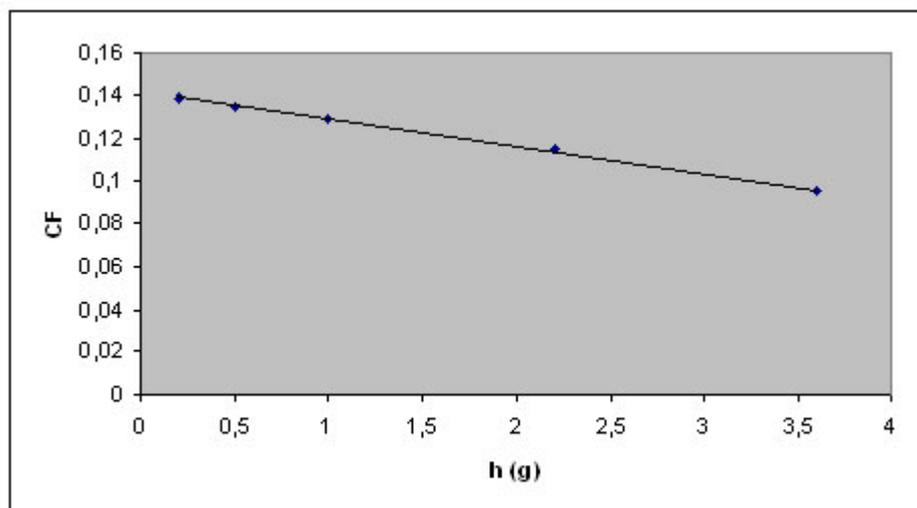


Figura 2

**RESULTADOS**

Con el protocolo expuesto hemos desarrollado medidas de la exhalación de radón en las instalaciones uraníferas de la Empresa Nacional del Uranio (ENUSA) situadas en la provincia de Salamanca. Las tablas 1 y 2 recogen, los valores más importantes encontrados, así como las características básicas de los suelos sobre los que se realizaron las medidas.

Dado que para las condiciones estándares de medida, el límite de detección del método está en los 20 Bq/m<sup>2</sup> h, y que la exhalación media de los suelos a nivel mundial se puede estimar en unas dos veces dicha cantidad, el método propuesto resulta apropiado, por su bajo costo, cuando se desee realizar medidas de la exhalación sobre superficies amplias, principalmente cuando van a ser sometidas a procesos de restauración en los que el valor del parámetro debe ser controlado para que su incidencia sobre la población resulte ser mínima.

Tabla 1. Medida de exhalación de radón en los suelos

ZONAS	MEDIDA DE EXHALACIÓN DE RADÓN		
	Exhalación (Bq/m <sup>2</sup> h) (x 10 <sup>4</sup> )	SD	Intervalo (Bq/m <sup>2</sup> h) (x 10 <sup>4</sup> )
Suelo natural.....1	0,102	0,075	0,06 - 0,20
Dique de estériles.....2	1,14	0,64	0,59 - 3,06
Corta sin restaurar.....3	1,37	1,81	0,18 - 6,96
Zona restaurada.....4	0,046	0,024	0,018 - 0,091
Zona restaurada.....5	0,034	0,017	0,011 - 0,18
Zona restaurada.....6	0,037	0,045	0,09 - 0,19
Zona restaurada.....7	0,029	0,012	0,013 - 0,053

Tabla 2. Características de los terrenos medidos

ZONAS	CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS			
	Actividad Ra-226 (Bq/Kg)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	Humedad (%)
Suelo natural.....1	680	1300	50	22
Dique de estériles.....2	6110	1300	57	28
Corta sin restaurar.....3	4870	1210	53	34
Zona restaurada.....4	240	1210	57	21
Zona restaurada.....5	420	1230	53	32
Zona restaurada.....6	400	1100	52	34
Zona restaurada.....7	640	1200	48	27

## CONCLUSIONES

La conclusión más importante del trabajo es que se dispone de un método contrastado para la medida de la exhalación de radón, sencillo y de bajo costo que puede ser empleado a través de una tecnología disponible en cualquier laboratorio de medida de la radiactividad natural, con el cual ha sido posible comprobar la correcta restauración que se lleva a cabo en parte de la mina de uranio situada en Saelices el Chico, Salamanca, España.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] QUINDÓS, L.S., SOTO, J., FERNÁNDEZ, P.L., RÓDENAS, C., Estimate of external gamma exposure in Spain. *Radiation Protection Dosimetry* (1992)45:527-529.
- [2] QUINDÓS, L.S., SOTO, J., FERNÁNDEZ, P.L., DELGADO, M.T., Radón en el agua de una región de alto nivel de radiación natural, *Bol. Soc. Esp. Hidrol. Med.* (1992) 2, 85-88.
- [3] PEARSON, J., Emanation of Rn-222 from soils and its use a tracer, *J. Geophysical Research* (1965)70 5279-5287.
- [4] QUINDÓS, L.S., SOTO, J., FERNÁNDEZ, P.L., Exposure to natural sources of radiation in Spain, *Nucl. Tracks, Radiat. Measur.* Vol 21 (1993)295-298.
- [5] U.S. Nuclear Regulatory Commission. Regulatory guide 3.64. Calculation of radón flux attenuation by earthen uranium mill tailings covers, Washington DC, 1989.
- [6] COUNTESS, R.J. Radón Flux Measurement with a Charcoal Cannister *Health Physics* (1976) 31:455.
- [7] HARTLEY, J.N., GEE, G.W., BAKER, E.G. Y FREEMAN, H.D., 1981, Radón Barrier Field Test at Grand Junction Uranium Mill Tailings Pile. EOW/UMP-0213, PNL-4539, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington, 1983.
- [8] QUINDÓS L.S, SOTO, J., FERNÁNDEZ P.L., Measurement of the exhalation rate of radón 222 from solid samples via an accumulation method, Annual Meeting Health Physics Society, Salt Lake City, USA. 1987.
- [9] QUINDÓS, L.S., FERNÁNDEZ, P.L., SOTO, J., A method for the measurement of the emanation factor for  $^{222}\text{Rn}$  on small samples of porous materials, *Radiation Protection Dosimetry*, (1994)56:171-173.
- [10] NOETHER, G.E., Simple size determination for some common nonparametric tests. *Journal of the American Statistical Association*, (1997)82:645-647.
- [11] GOGOLAK, C.V., POWERS, G.E., HUFFERT, A.M., A non parametric statistical methodology for the design and analysis of final status decommissioning surveys. NUREG,1505, New York, 1997.

# EVALUACIÓN RADIOLÓGICA DE SEDIMENTOS DE LA BAHÍA DE LA HABANA

A. Gelen Rudnikas<sup>1</sup>, J. Soto Torres<sup>2</sup>, O. Díaz Rizo<sup>1</sup>, M. J. Simón Delgado<sup>1</sup>, J. Beltrán González<sup>3</sup>, M. Ramírez Sasco<sup>3</sup>, E. Herrera Peraza<sup>1</sup>, J. Gómez Arozamena<sup>2</sup>, C. Ródenas Palomino<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, Ciudad de La Habana, Cuba

<sup>2</sup>Universidad de Cantabria, Santander, España

<sup>3</sup>Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas, Ciudad de La Habana, Cuba

## Resumen

Se presentan los resultados de la caracterización físico-radiológica de sedimentos de la Bahía de La Habana. La mediciones espectrométricas de bajo fondo, permitieron la cuantificación de las concentraciones de los siguientes elementos radiactivos: <sup>210</sup>Pb, <sup>137</sup>Cs, <sup>238</sup>U, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th y <sup>40</sup>K. Los resultados obtenidos son de gran utilidad en el marco de los estudios de contaminación de la bahía y de sus condiciones de sedimentación.

## RADIOLOGICAL EVALUATION OF SEDIMENTS FROM THE BAY OF HAVANA

## Abstract

It have been performed a study of the physical-radiological characteristics of sediments of the Havana Bay. The low background spectrometric measurements allowed to quantify the concentrations of the isotopes radioactive gamma emitters <sup>210</sup>Pb, <sup>137</sup>Cs, <sup>238</sup>U, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th y <sup>40</sup>K. The obtained results will be very useful to the studies on bay contamination, its conditions of sedimentation.

*Palabras clave: bay; sediments; natural radioactivity; background radiation; cesium 137; uranium 238; thorium 232; polonium 210; radium 226; contamination; environment; potassium 40; radiation monitoring; activity levels; Cuba; seawater.*

## INTRODUCCIÓN

La bahía de La Habana (Cuba) es un ecosistema marítimo situado en la zona occidental de la isla de Cuba y tiene el principal puerto del país. Es una típica bahía de bolsa ubicada en una costa abrasiva con terrazas coralinas de seboruco o diente de perro. Debe su origen a movimientos de ascenso y descenso de la línea del litoral registrados durante el pleistoceno en combinación con las formaciones coralinas y la acción erosiva de los ríos [1]. La bahía de La Habana consta de tres ensenadas, la de Atarés, la de Marimelena y la de Guasabacoa. Los principales ríos y arroyos que vierten sus aguas en la bahía son el Luyanó, el Martín Pérez y el Arroyo Tadeo. El régimen hídrico de todas las corrientes fluviales presenta una fuerte alteración antrópica debido fundamentalmente al escurrimiento de los

ríos, al vertimiento de un gran volumen de residuales líquidos en los tramos de cuencas que atraviesan zonas urbanas e industriales y a los múltiples drenajes y alcantarillados que vierten a la bahía [1,2]. Con este estudio se determinarán las actividades específicas de diferentes isótopos radiactivos presentes en los sedimentos marinos, así como algunas de sus características físicas [3-8].

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la determinación de las características físicas e isotópicas de los sedimentos se establecieron cuatro puntos de muestreo, uno en cada ensenada y un punto en el centro de la bahía según aparece en la figura 1. Para la recogida de las muestras se empleó un tubo cilíndrico plástico de 10 cm de diámetro y 1 m de longitud el cual fue enterrado en

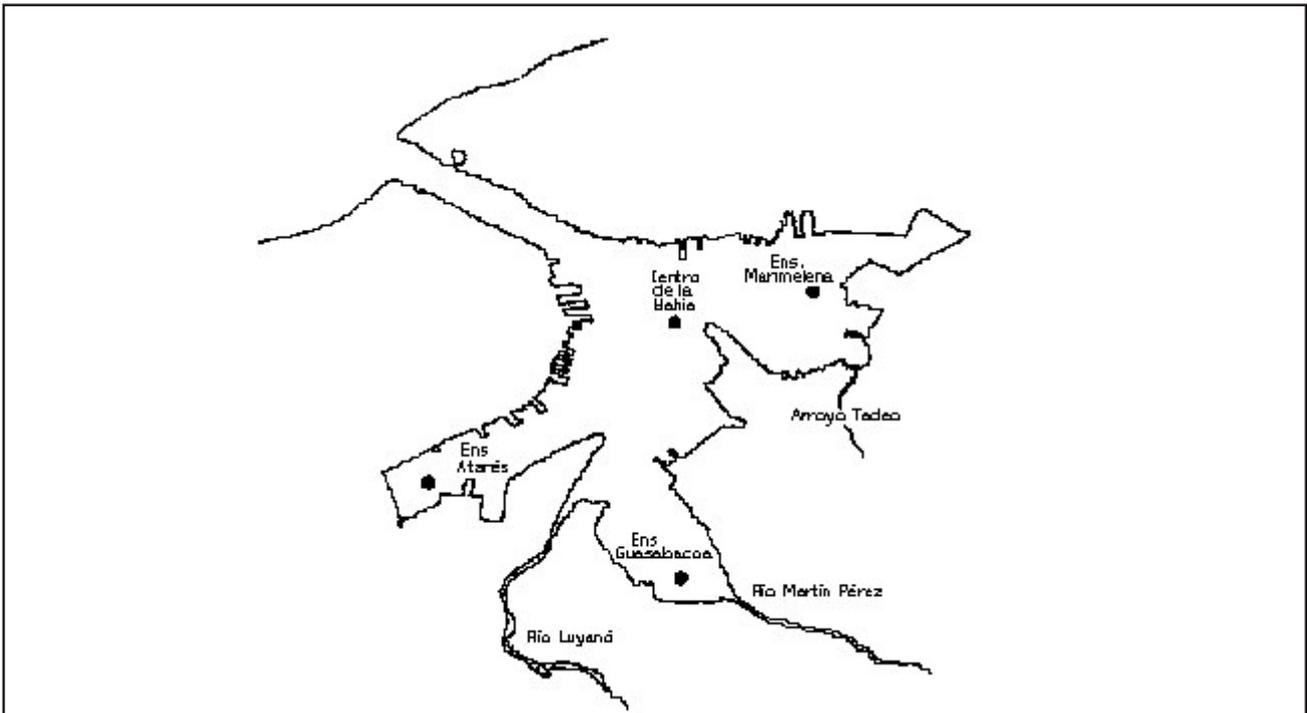


Figura 1. Mapa de los puntos estudiados en la bahía de La Habana.

el sedimento marino en zonas que no habían sido dragadas con anterioridad. La recogida no se pudo realizar en la ensenada de Atarés al no compactarse la muestra.

Las muestras fueron congeladas y posteriormente cortadas con un espesor desde 1 cm hasta 5 cm según la masa obtenida, quedando un total de 95 muestras. Posteriormente fueron congeladas, liofilizadas, tamizadas a tamaño de grano 2 mm y pesadas. Para las mediciones granulométricas se emplearon tamices para diferentes tamaños del grano y las densidades se determinaron a partir de la relación entre el peso seco y el volumen de la muestra.

Para la medición de la actividad se reenvasaron las muestras en recipientes plásticos de 6 cm de diámetro y 3 cm de altura, uniéndolas convenientemente para obtener un peso de 50 g. Con el fin de garantizar el equilibrio radiactivo entre el  $^{226}\text{Ra}$ , el  $^{222}\text{Rn}$  y los descendientes de vida media corta de este último, las muestras se cerraron herméticamente y se almacenaron durante 30 días. Se empleó para ello un detector de HPGe marca CAMBERRA de configuración vertical ubicado en un sistema blindado de bajo fondo y enlazado a un convertidor análogo digital de 4096 canales acoplado a una IBM-PC, con una resolución de 1,86 keV.

La concentración de los elementos se determinó a partir de los siguientes fotopicos:  $^{210}\text{Pb}$  (47 keV),  $^{238}\text{U}$  (63 keV del  $^{234}\text{Th}$ ),  $^{226}\text{Ra}$  (352 keV del  $^{214}\text{Pb}$  y 610 keV del  $^{214}\text{Bi}$ ),  $^{137}\text{Cs}$  (661 keV),  $^{40}\text{K}$  (1470 keV),

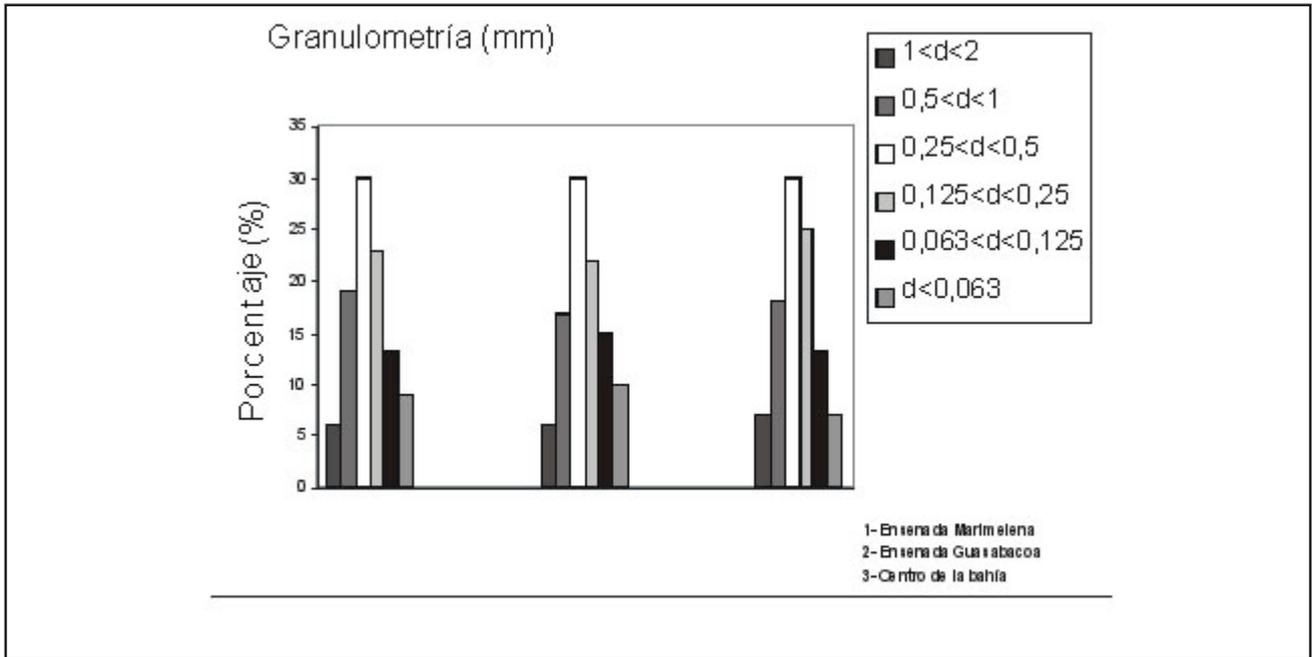
$^{232}\text{Th}$  (911 keV del  $^{228}\text{Ac}$  y 2614 keV del  $^{208}\text{Tl}$ ) [9], de manera relativa. Y para ello se empleó una muestra de actividad conocida proveniente de una intercomparación con el Organismo Internacional de Energía Atómica en el año 1991 preparada con la misma geometría que las muestras a medir [10,11].

Los valores de los límites inferiores de detección (LD) fueron de  $0,5 \text{ Bq.kg}^{-1}$  para el  $^{137}\text{Cs}$ , de  $10 \text{ Bq.kg}^{-1}$  para el  $^{210}\text{Pb}$ , de  $2 \text{ Bq.kg}^{-1}$  para el  $^{232}\text{Th}$ , de  $3 \text{ Bq.kg}^{-1}$  para el  $^{226}\text{Ra}$ , de  $6 \text{ Bq.kg}^{-1}$  para el  $^{234}\text{Th}$  y de  $10 \text{ Bq.kg}^{-1}$  para el  $^{40}\text{K}$ . Las mediciones se realizaron durante 24 horas para las muestras correspondientes al centro de la bahía y de 8 horas para el resto.

Para determinar el tamaño del grano se emplearon tamices de diferentes tamaños. Las densidades se determinaron a partir de la relación entre el peso y el volumen de la muestra.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en las mediciones del tamaño del grano en todos los puntos estudiados denotan en la granulometría un predominio de una arena media en el primer metro, aunque en total en el sedimento hasta 5 m la composición es fundamentalmente, limo arcillosa [1] como se muestra en la figura 2. Las densidades obtenidas son mayores en las ensenadas que en el centro de la bahía al ser mayor el aporte de sólidos en suspensión en estas zonas.



### Ensenada de Marimelena

Las muestras correspondientes a la ensenada de Marimelena se recolectaron a una profundidad de 2,2 m. Es una zona fuertemente contaminada en la que se vierten directamente a la bahía residuos urbanos e industriales con suficiente materia orgánica e hidrocarburos. Ello se denota fundamentalmente en la diferencia del color más oscuro que presenta el sedimento en esta zona [1, 12].

Las concentraciones de  $^{232}\text{Th}$  están muy dispersas y algunos valores están por debajo del límite inferior de detección. Para el isótopo  $^{40}\text{K}$  se obtiene un valor medio de concentración de  $273 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , con un error de entre 7 y 9%, que manifiesta un fuerte aporte terrígeno. Las concentraciones de  $^{234}\text{Th}$  medidas presentan valores de

concentración entre el LD y  $114 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , con un valor medio de  $56 \text{ Bq.kg}^{-1}$  y errores hasta un 25%. En este punto de muestreo la influencia de las perturbaciones físicas y biológicas son menores que en el punto correspondiente a la ensenada de Guasabacoa, siendo mayor la influencia del  $^{238}\text{U}$  en el sedimento marino.

La concentración de  $^{226}\text{Ra}$  presenta valores bajos y dispersos con la profundidad desde la superficie hasta los 54 cm de profundidad de la muestra, con un valor medio de  $5 \text{ Bq.kg}^{-1}$  y errores entre 20 y 40%. Las actividades específicas del isótopo  $^{137}\text{Cs}$  presentan una notable dispersión en sus valores, muy cercanos al LD lo que se refleja en los errores obtenidos que pueden alcanzar hasta 30%. Las concentraciones de  $^{210}\text{Pb}$  medidas presentan valores de concentración entre 13 y  $62 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , con errores entre 15 y 25%.

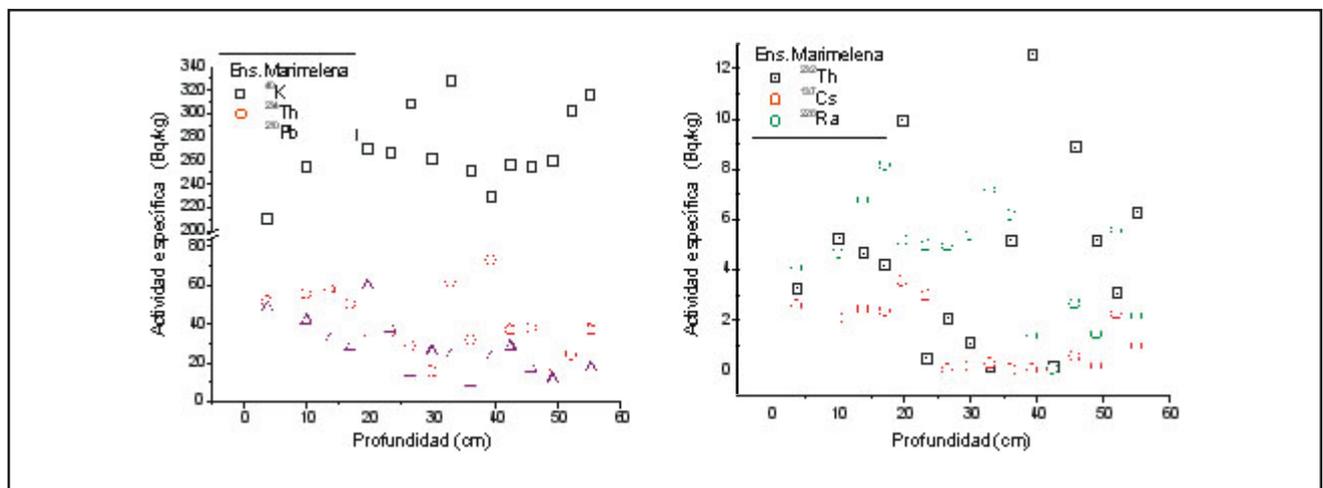


Figura 3. Perfiles de actividad específica del  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{Th}$  y  $^{210}\text{Pb}$  para la ensenada de Marimelena.

Los perfiles de actividad específica para los diferentes isótopos en la ensenada de Marimelena se muestran en la figura 3.

### Ensenada de Guasabacoa

El segundo punto de muestreo se ubicó en la ensenada de Guasabacoa, en la desembocadura del río Martín Pérez, con una profundidad de 3,2 m. Esta ensenada es una de las de mayor aporte de materia orgánica [1].

Los valores obtenidos para el  $^{232}\text{Th}$  en su mayoría se manifiestan por debajo del LD. El valor medio de concentración para el isótopo  $^{40}\text{K}$  es de  $254 \text{ Bq.kg}^{-1}$  con un aporte terrígeno. Los valores de concentración del  $^{210}\text{Pb}$  están muy dispersos y varían entre el LD y  $34 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , con una tendencia no monótonamente decreciente y errores del 24%. Las concentraciones de  $^{226}\text{Ra}$  están alrededor de un valor medio de  $9 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , valor inferior a la concentración de  $^{210}\text{Pb}$  total en toda la profundidad. En este punto los valores de actividad específica obtenidos para el  $^{234}\text{Th}$  son inferiores a los del resto de los puntos muestreados con un valor medio de  $27 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . La ubicación del punto de muestreo en las cercanías de la desembocadura del río Martín Pérez favorece los procesos de bioturbación y la posible disolución del  $^{238}\text{U}$ , además de que se provocan pequeñas cantidades de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{210}\text{Pb}$  deposicional.

Los perfiles de actividad específica para los diferentes isótopos en la ensenada de Guasabacoa se muestran en la figura 4.

### Centro de la Bahía

El punto tercero de muestreo se ubicó en el centro de la bahía a una profundidad de 11,4 m, cuya zona está influenciada por los aportes contaminantes de las tres ensenadas, lo que se denota en la diferente coloración del sedimento marino [1].

Las concentraciones de  $^{232}\text{Th}$  presentan una notable dispersión en sus valores y muy cercanos al LD, en dicho punto el valor medio es de  $4 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , con errores elevados. Las actividades específicas obtenidas para el isótopo  $^{226}\text{Ra}$  fluctúan alrededor de  $7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , con valores bajos y dispersos desde la superficie hasta los 35 cm de profundidad de la muestra. En estas mediciones se obtuvieron errores entre 12 y 20%. Los valores de concentración obtenidos tanto para el  $^{232}\text{Th}$  como para el  $^{226}\text{Ra}$  fueron del mismo orden, que denotan sedimentos del mismo origen.

Se obtiene un valor medio para la concentración de  $^{40}\text{K}$  de  $238 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , con un error de 6%, sus valores fueron inferiores al de las ensenadas. Los menores valores de actividad obtenidos tanto en el  $^{40}\text{K}$  como en el  $^{232}\text{Th}$  con respecto a los demás puntos denotan sedimentos de origen marino. Las actividades específicas del  $^{137}\text{Cs}$  presentan valores notables en la medida que aumenta la profundidad del sedimento lo que es un reflejo de su naturaleza arenosa en estas profundidades.

Las concentraciones de  $^{234}\text{Th}$  medidas presentan valores de concentración entre 12 y  $79 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , con un valor medio de  $39 \text{ Bq.kg}^{-1}$  y error hasta un 20%; son

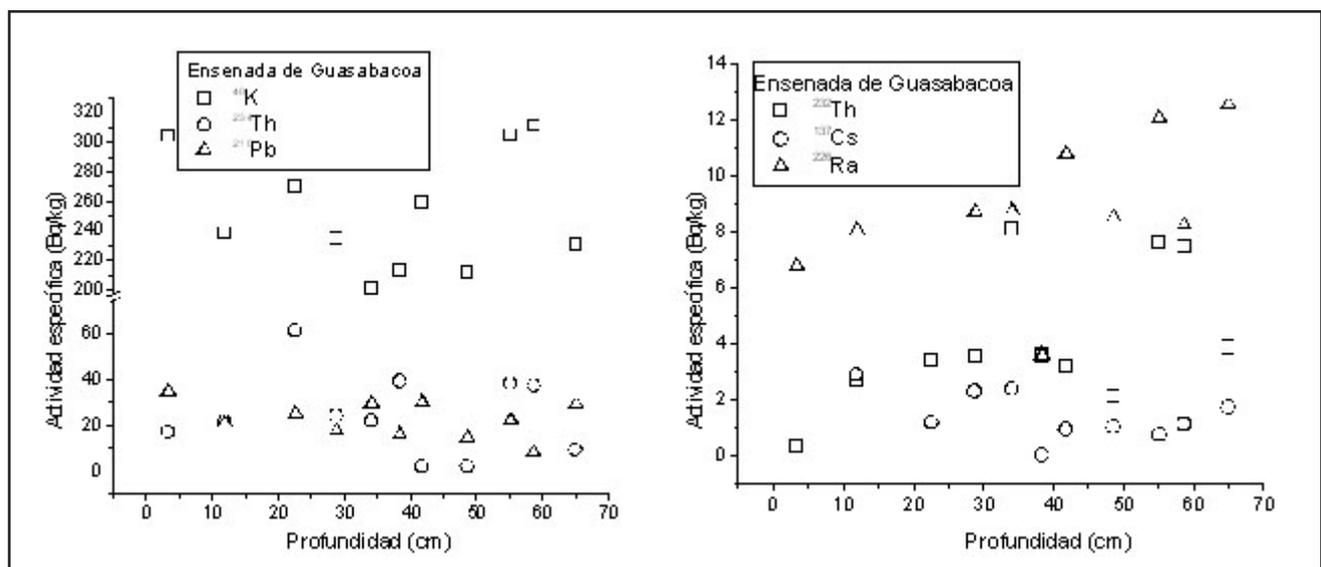


Figura 4.- Perfiles de actividad específica del  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{Th}$  y  $^{210}\text{Pb}$  para la ensenada de Guasabacoa.

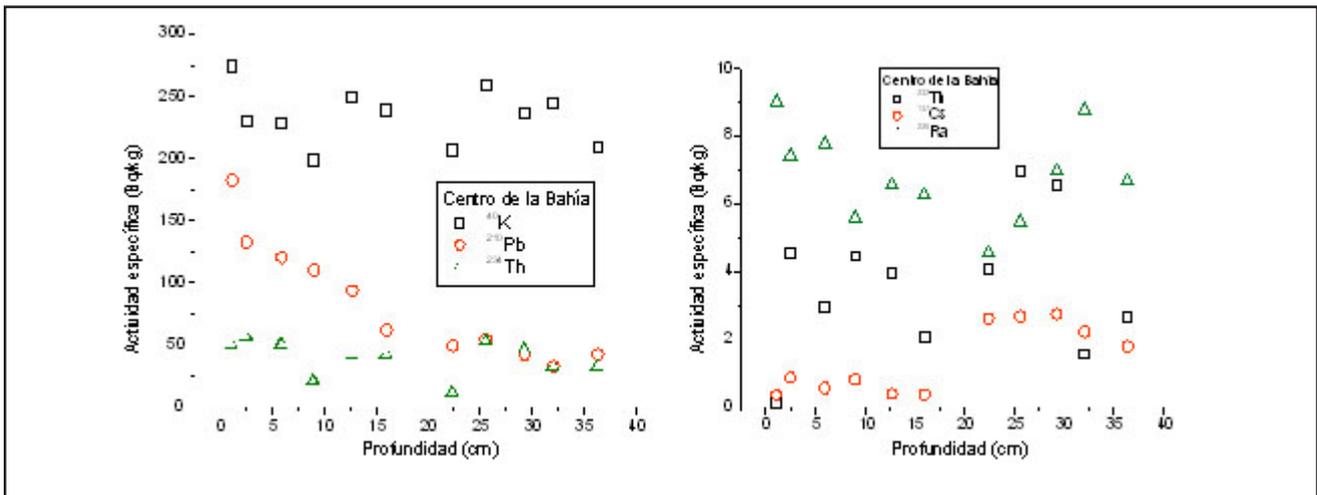


Figura 5.- Perfiles de actividad específica del  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{Th}$  y  $^{210}\text{Pb}$  para el centro de la bahía.

valores que denotan la permanencia del  $^{238}\text{U}$  en el sedimento marino.

Las concentraciones de  $^{210}\text{Pb}$  medidas presentan valores elevados de concentración comparados con los de las ensenadas, entre 24 y 184  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ , con errores entre 11 y 14%.

Los perfiles de actividad específica en el centro de la bahía se muestran en la figura 5.

### CONCLUSIONES

La distribución de la actividad específica del Pb-210 con la profundidad del sedimento marino refleja una tendencia monótonamente decreciente y exponencial para el centro de la bahía y para la ensenada de Marimelena. En los resultados obtenidos se observa dispersión en los valores de actividades específicas del  $^{210}\text{Pb}$  para la ensenada de Guasabacoa, donde ya no se obtiene un perfil decreciente, lo que se explica por la influencia de los procesos de bioturbación favorecidos por la cercanía a la desembocadura del río Martín Pérez.

Las concentraciones obtenidas para el  $^{232}\text{Th}$  y para el  $^{226}\text{Ra}$  son de igual orden en el centro de la bahía con sedimentos del mismo origen.

Se puede observar una mayor deposición de  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{137}\text{Cs}$  en el centro de la bahía y la migración de  $^{137}\text{Cs}$  hacia las mayores profundidades dada por la presencia de suelos arenosos.

La actividad específica del  $^{40}\text{K}$  es de mayor valor en las ensenadas que en el centro de la bahía que se manifiestan por el fuerte aporte terrígeno a dichos sedimentos.

La concentración de  $^{234}\text{Th}$  disminuye en la ensenada de Guasabacoa y denota posibles procesos químicos de disolución del  $^{238}\text{U}$ . Esta zona está afectada por las corrientes de agua dulce así como por procesos biológicos y no se refleja en los otros dos puntos, el de mayor profundidad en el centro de la bahía y en el de Marimelena, menos favorecido por los procesos de bioturbación.

Este estudio es la parte preliminar de un proyecto en el cual se está efectuando un análisis geoquímico e isotópico de los sedimentos de la bahía de La Habana, mediante técnicas nucleares y convencionales.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Agencia Española de Colaboración Iberoamericana (AECI) por el financiamiento parcial de esta investigación.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Proyecto CUB/80/001. Instituto de Investigaciones del Transporte, Investigación y Control de la Contaminación Marina en la Bahía de La Habana, 1983.
- [2] GEF/PNUD Proyecto Regional Planificación y manejo ambiental de bahías y zonas costeras fuertemente contaminadas del Gran Caribe. Estudio de caso Bahía de La Habana, Cuba, 1998.
- [3] BROWN, J. E., MC.DONALD, P., PARKER, A., RAE, J.E., The vertical distribution of radionuclides, in a Ribble Estuary saltmarsh: transport and deposition of radionuclides. J. Environ. Radioactivity (1999)43, 259-275.
- [4] MARTÍNEZ, A., ROMERO, L., PALOMARES, J., Datación de sedimentos marinos mediante Pb-210 y Cs-137, XVI Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española, Oviedo, España, (1990)20.
- [5] MARTÍNEZ, A., PERIAÑEZ, R., Distribution of natural radionuclides in sequentially extracted fractions of sediments from a marsh area in Southwest Spain: U isotopes, J. Environ. Radioactivity, (1999)45, 67-80.
- [6] RAMOS-LERATE, I., BARRERA, M., LIGERO, RA.,

CASAS-RUIZ, M., Use of gamma radionuclides as tracers to investigate transport of sediments in the bay of Cádiz. *Applied Sci. and Environ* (1999)3, 217- 229.

[7] ROBBINS, J., EDGINGTON, D., Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-37 (1975)285-304.

[8] SOTO, J., RÓDENAS, C., GELEN, A., DÍAZ O., BELTRÁN, J., Caracterización físico-radiológica de sedimentos de la Bahía de La Habana, *Memorias del Taller de la Cátedra de Medio Ambiente*, 2001.

[9] LEREDER, CM., HOLLANDER, JM., PERLMAN, I., *Table of isotopes*, Ed. John Wiley and Sons, New York, 1967.

[10] QUINDÓS, LS., FERNÁNDEZ, PL., SOTO, J., RÓDENAS, C., GÓMEZ, J., Natural radioactivity in Spanish soils, *Health Physics*, (1994)66, 194-200.

[11] GÓMEZ, J., SOTO, J., Ejercicio de intercomparación de resultados de medida de radiactividad en la Red de Vigilancia Radiológica Ambiental, Ed. Consejo de Seguridad Nuclear, Madrid, 1998.

[12] BELTRÁN, J., RUIZ, F., TORRES, I., SABORIDO, L., Contaminación por petróleo en la bahía de La Habana, En: *Contribución a la educación y protección ambiental*, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Habana (2000) 224-228.

# EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y ESTABILIDAD DEL DIAGNOSTICADOR IRMA-HTSH

P. Melo Cala<sup>1</sup>, L. Pizarro Lou<sup>1</sup>, A. Hernández Garcés<sup>1</sup>, J.C. Rodríguez González<sup>2</sup>, M. Teresa Marrero Rodríguez<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Isótopos, Ciudad de La Habana, Cuba

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Endocrinología, Ciudad de La Habana, Cuba

## RESUMEN

El trabajo evalúa el funcionamiento del diagnosticador IRMA-hTSH, producido en el Centro de Isótopos, así como determina su período de validez y valores de referencia en la población sana. Para calcular la exactitud y precisión del método se evaluaron cinco controladores mediante réplicas, pruebas de dilución y recuperación. La estabilidad fue evaluada en un período de 10 semanas. Como resultado se obtuvo un límite de detección de 0,014 mU/L con un 94% de confianza, una precisión intraensayo del 3,32% e interensayo igual a 8,36%. Los valores de exactitud del método fueron 105,50% de recuperación y 100,01% en la dilución. El intervalo de valores de referencia para un 95,33% de confianza, estuvo entre 0,52 mU/L y 3,92 mU/L. El período de validez determinado fue de siete semanas. Por lo que el IRMA-hTSH es estable y determina concentraciones de hTSH en suero con alta precisión y exactitud.

## ASSESSMENT OF PERFORMANCE AND STABILITY OF THE IRMA-TSH DIAGNOSTIC KIT

### ABSTRACT

This paper determined the characteristics of our IRMA-hTSH as well as his behavior in the time and the references ranges in our healthy people. Were used five controllers in repeatability and reproducibility test, and dilution and recovery test.

As results was got detection limits of 0,014 mU/L with a 94% of confidence, a precision intra assay of 3,32% and inter assay equal to 8,36%. Besides were found a 105,50% of recuperation and 100,01% in the dilution test. 0,52 mU/L to 3,92 mU/L was the reference range. The life period was seven week. As the conclusion, IRMA-hTSH is stable and measures values of hTSH in serum with high precision and exactitude.

*Palabras clave: quality assurance; diagnostic uses; accuracy; compiled data; radioimmunoassay; TSH; iodine 125; radiopharmaceuticals; quality control*

## INTRODUCCIÓN

La hTSH es una glicoproteína de peso molecular 28 000, secretada por la adenohipófisis. Contiene una cadena  $\alpha$  y otra  $\beta$  ligadas por enlaces no covalentes. Las subunidades  $\beta$  son las responsables de la especificidad inmunológica y biológica de esta hormona [1].

La síntesis de la hTSH es controlada por los niveles circulantes de las hormonas tiroideas (T3 y T4) y la TRH. El incremento de los niveles circulantes de T3 o T4 suprime la secreción de hTSH, una disminución de T3 o T4 incrementa la hTSH en suero.

El incremento de hTSH en suero es el mejor indicador de un hipotiroidismo primario [1].

Para determinar las concentraciones de hTSH en suero utilizamos un ensayo inmunoradiométrico (IRMA) que involucra dos anticuerpos monoclonales de alta afinidad [2]. Los patrones preparados y las muestras analizadas reaccionan con una mezcla de anticuerpos monoclonales contra hTSH.

Un anticuerpo marcado con <sup>125</sup>I ataca rápidamente un único sitio de unión de la molécula de hTSH y un segundo anticuerpo biotinilados se enlaza la hTSH formando un sandwich.

Después de dos horas de incubación a temperatura ambiente se adiciona en exceso el inmunosorbente magnético (ISM) unido a avidina. Este se enlaza rápida y específicamente al sandwich y es sedimentado en un campo magnético.

Un simple paso de lavado reduce los enlaces no específicos a un mínimo para incrementar la precisión del análisis. La concentración de la hormona es directamente proporcional a la actividad enlazada al ISM.

El trabajo evalúa el funcionamiento del diagnosticador IRMA-hTSH producido en el Centro de Isótopos a través de la determinación de la sensibilidad del método, su precisión y exactitud, así como su período de validez y valores de referencia en la población sana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Determinación del límite de detección

El límite de detección analítico es la concentración mínima detectable [3] y se determinó gráficamente la concentración correspondiente a la actividad límite superior, con un 94% de confianza, de la distribución normal de veinte réplicas del estándar de concentración 0,00 mU/L del IRMA-hTSH, donde:

$$\text{Cpm-límite-máx} = \text{Cpm-promedio} + 2S$$

### Determinación de los valores normales

Se evaluaron muestras de suero de 218 pacientes, supuestamente sanos, provenientes de bancos de sangre. Para determinar los valores de referencia se utilizó una distribución normal del logaritmo de las concentraciones de hTSH y se definió el mismo para un intervalo de confianza del 95,33%, donde:

$$X\text{-límite} = X\text{-promedio} \pm 2S$$

### Precisión

Para determinar la precisión del diagnosticador IRMA-hTSH se emplearon dos pruebas: repetibilidad intraensayo y reproducibilidad interensayo. Ambas permiten evaluar la dispersión de los valores observados para una misma muestra [2,3]. La repetibilidad se calculó como la medida de dispersión (%CV) al evaluar 10 réplicas de tres controles (C1, C2 y C3) procedentes de BioRad (E.U).

La reproducibilidad se determinó como la medida de dispersión (%CV) al evaluar los tres controles de BioRad y un control (Sc) de Izotop (Hungría) en

18 ensayos diferentes. Los valores de %CV deben ser inferiores al 10 y 15% respectivamente.

### Exactitud

La exactitud se determinó a través de un ensayo de dilución seriada y de recuperación. Se prepararon soluciones de C2, C3 y un control (E1) elaborado en nuestro centro.

Para conocer el porcentaje de recuperación se evaluó E1, C1 y C2 con los seis estándares de hTSH en cantidades equivolúmetricas [2].

### Estudio de la estabilidad del diagnosticador IRMA-hTSH

Para realizar este estudio se tuvo en cuenta la estabilidad del diagnosticador en condiciones adversas (a temperatura ambiente) y en condiciones de almacenamiento de 2°C a 8°C [4].

El estudio se enmarcó entre 0 y 10 semanas después de la fecha de producción, ya que el trazador, su componente más lábil, presenta un período de semidesintegración de 60 días, lo cual influye grandemente en la estabilidad del diagnosticador. Para el estudio en condiciones de almacenamiento de 2°C a 8°C se ensayaron cuatro juegos de reactivos de un mismo lote a las semanas 0, 3, 6 y 10 respectivamente.

En condiciones adversas se ensayaron dos juegos de reactivos del mismo lote en las semanas 1 y 2 después de producido. En estos estudios se tomaron como parámetros indicativos de la calidad la dosis al 20, 50 y 80% de unión (ED-20, ED-50 y ED-80), la concentración del suero control y la concentración de los controladores de BioRad a tres niveles de concentración [2,3]. En el estudio de la estabilidad se tomaron tres lotes a escala productiva para tener estadística del comportamiento del diagnosticador [4].

Para medir la estabilidad del diagnosticador hallamos el coeficiente de variación de los diferentes parámetros en el tiempo, los cuales deben encontrarse por debajo del 15% [2,3].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El límite de detección fue 0,014 mU/L según se muestra en la figura 1. De acuerdo con este valor, se considera este método supersensitivo comparado con diagnosticadores que utilizan el método RIA [2,3] y se pueden determinar concentraciones de hTSH por encima de 0,014 mU/L.

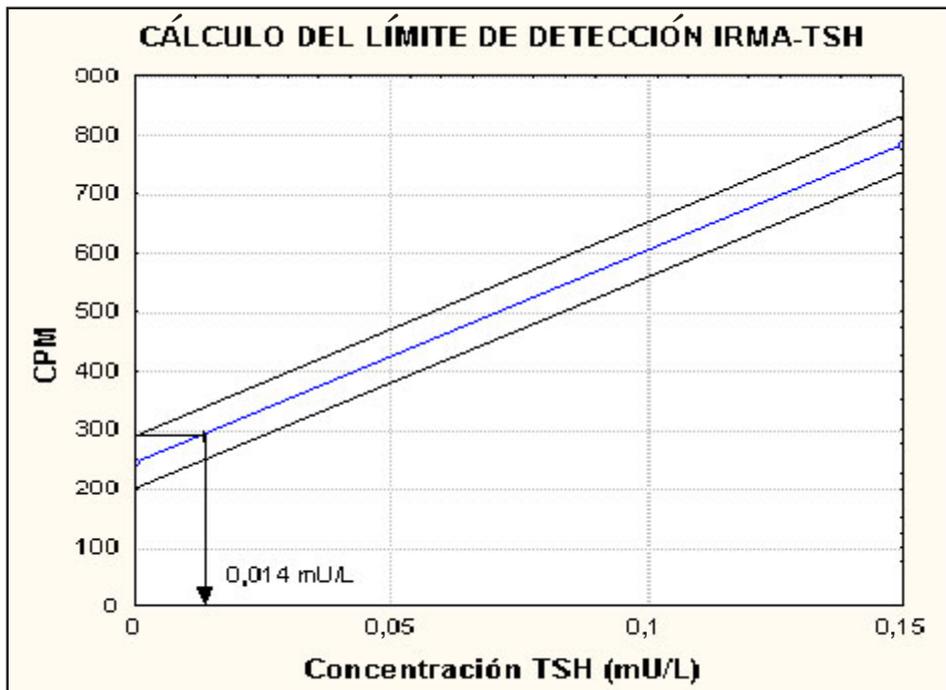


Figura 1. Determinación del límite de detección.

Un histograma de frecuencia permitió comprobar que el logaritmo de los valores, de pacientes sanos, obtenidos se corresponden con una distribución normal, siendo P igual a 0,372, como se observa en la figura 2. Los valores normales obtenidos con un 95,33% de confianza estuvieron entre 0,52 y 3,92 mU/L.

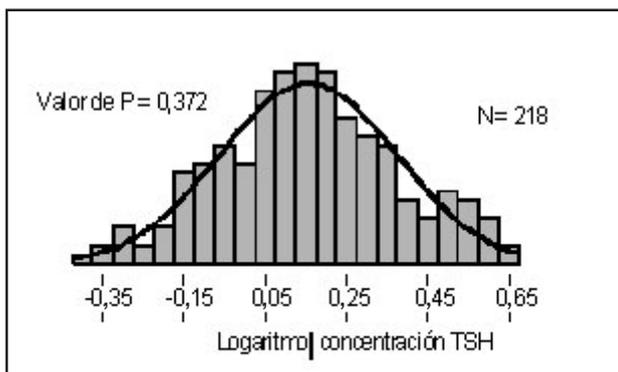


Figura 2. Determinación de los valores normales.

Tabla 1. Repetibilidad intraensayo

Muestra	No. med.	Prom. U/L	DS mU/L	CV %
Control 1	10	0,42	0,02	4,34
Control 2	10	9,49	0,38	4,04
Control 3	10	27,80	0,44	1,60
Repetibilidad en el mismo ensayo				3,32

Tabla 2. Reproducibilidad Interensayo

Muestra	No. med.	Prom. mU/L	DS mU/L	CV %
S. Control	18	1,31	0,13	10,21
Control 1	18	0,42	0,05	12,96
Control 2	18	9,77	0,42	4,30
Control 3	18	27,03	1,62	5,98
Reproducibilidad interensayo				8,36

En la tabla 1 y 2 se muestran los coeficientes de variación intraensayo e interensayo. El CV intraensayo es 3,32% y el CV interensayo es 8,36%. Dados los coeficientes de variación obtenidos este diagnosticador se considera repetitivo y reproducible.

En las figuras 3, 4 y 5 se muestran los resultados de las pruebas de dilución con estándar cero de los tres controles utilizados (E1, C2 y C3). La correlación estadística efectuada entre los valores observados y los valores reales mostraron pendientes y coeficientes de correlación cercanos a uno.

Esto permite concluir que no existe error sistemático en la determinación de la dosis.

En las tablas 3.1 y 3.2 se informan los valores de % de exactitud de los controles evaluados en las pruebas de dilución y de recuperación. Se obtuvo un 100,03% en la prueba de dilución y un 105,5% de recobrado. Por lo tanto las muestras de pacientes se comportan de manera similar a los estándares del juego de reactivos ante los anticuerpos utilizados. El porcentaje de exactitud promedio obtenido fue 102,75%.

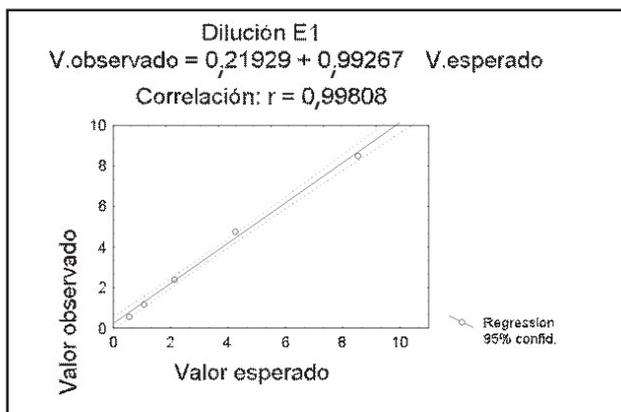


Figura 3. Prueba de dilución E1.

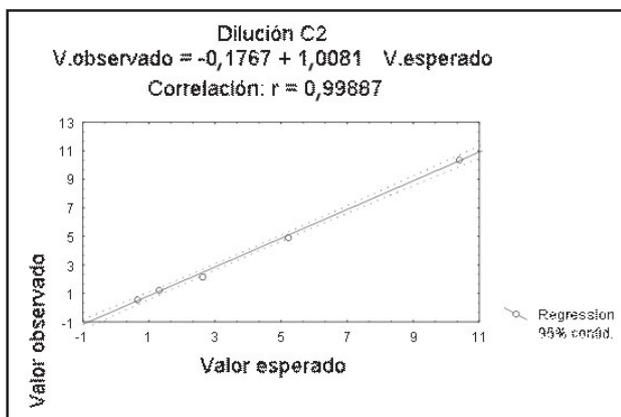


Figura 4. Prueba de dilución C2.

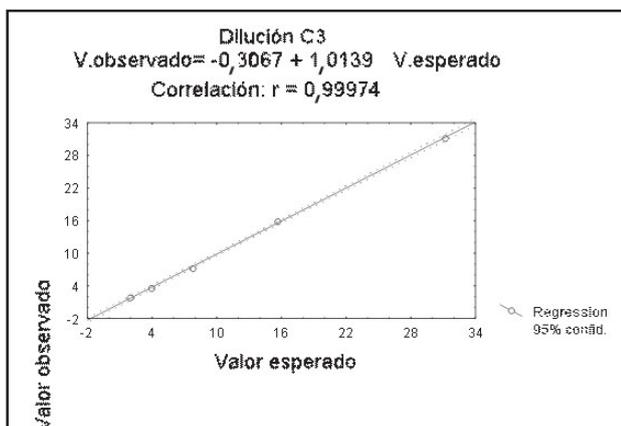


Figura 5 : Prueba de dilución C3.

Tabla 3.1 Resultados del ensayo de dilución

Prueba de dilución			
	%RE1	%RC2	%RC3
<b>Muestra</b>	100,00	100,00	100,00
Muestra/2	111,87	95,57	102,09
Muestra/4	112,81	82,85	93,81
Muestra/8	112,81	97,88	90,09
Muestra/16	110,93	97,11	92,40
Promedio	109,68	94,68	95,68

Tabla 3.2 Resultados del ensayo de recuperación

Prueba de recuperación			
	%RE1	%RC2	%RC1
<b>Muestra</b>	100,00	100,00	100,00
(Muestra +R0) /2	108,81	102,03	84,44
(Muestra +R1) /2	110,62	96,76	96,67
(Muestra +R2) /2	110,21	98,45	106,67
(Muestra +R3) /2	106,63	98,37	102,37
(Muestra +R4) /2	98,00	103,75	106,67
(Muestra +R5) /2	99,12	118,84	129,42
	104,92	103,23	108,36

Como se aprecia en las tablas 4.1, 4.2, 5.1, 5.2, 6.1 y 6.2 los parámetros que definen la calidad del diagnosticador se mantienen estables durante el período de tiempo estudiado, obteniéndose en todos los casos coeficientes de variación por debajo del 15%. Teniendo en cuenta estos resultados se definió el período de validez del diagnosticador IRMA-hTSH igual a siete semanas, con un 30% de cobertura.

Tabla 4.1 Estudio de estabilidad en estante del lote 1

Estabilidad en Estante 2-8°C. Tiempo en semanas					
Medidas (mU/L)	0	3	6	10	% CV
ED-20	10,78	11,17	9,11	10,27	8,66
ED-50	31,61	32,90	26,69	29,31	9,06
ED-80	64,26	66,19	55,51	60,12	7,70
S. Control	1,47	1,49	1,50	1,16	11,66
Control 1	0,42	0,41	0,47	0,34	13,06
Control 2	9,77	9,52	9,78	9,74	1,26
Control 3	27,03	27,89	27,24	27,06	1,47
Promedio					7,55

Tabla 4.2 Estudio de estabilidad a temperatura ambiente del lote 1

<b>Estabilidad a temperatura ambiente</b>			
<b>Medidas (mU/L)</b>	<b>1 Sem</b>	<b>2 Sem</b>	<b>% CV</b>
ED-20	10,43	12,94	11,94
ED-50	30,25	37,82	12,15
ED-80	61,98	71,80	7,79
S. Control	1,51	1,19	12,54
Control 1	0,42	0,37	7,16
Control 2	9,77	9,70	0,39
Control 3	27,03	28,29	2,66
Promedio			7,80

Tabla 5.1 Estudio de estabilidad en estante del lote 2

<b>Estabilidad en estante 2-8°C. Tiempo en semanas</b>					
<b>Medidas (mU/L)</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>% CV</b>
ED-20	11,38	10,57	9,14	10,91	9,20
ED-50	34,95	32,12	27,47	31,95	9,78
ED-80	69,95	65,41	57,48	64,76	8,01
S. Control	1,40	1,37	1,18	1,39	7,80
Control 1	0,45	0,41	0,42	0,58	16,89
Control 2	10,38	9,77	9,58	9,54	3,96
Control 3	31,17	26,65	25,98	26,54	8,73
Promedio					9,19

Tabla 5.2 Estudio de estabilidad a temperatura ambiente del lote 2

<b>Estabilidad a temperatura ambiente</b>			
<b>Medidas (mU/L)</b>	<b>1 Semana</b>	<b>2 Semana</b>	<b>% CV</b>
ED-20	9,33	10,61	9,92
ED-50	27,78	29,94	11,91
ED-80	57,90	61,07	9,92
S. Control	1,25	1,24	6,91
Control 1	0,42	0,40	5,94
Control 2	9,13	9,50	6,64
Control 3	24,33	23,75	15,62
Promedio			9,55

<b>Estabilidad en estante 2-8° C. Tiempo en semanas</b>					
<b>Medidas (mU/L)</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>% CV</b>
ED-20	11,70	11,23	11,37	13,66	9,43
ED-50	34,86	33,15	32,46	38,68	7,88
ED-80	68,77	66,52	65,22	72,30	4,55
S. Control	1,28	1,32	1,21	1,31	3,89
Control 1	0,36	0,42	0,36	0,42	8,88
Control 2	9,99	9,29	9,98	10,48	4,92
Control 3	28,34	27,43	26,97	26,71	2,62
Promedio					6,02

Tabla 6.2 Estudio de estabilidad a temperatura ambiente del lote 3

<b>Estabilidad a temperatura ambiente</b>			
<b>Medidas (mU/L)</b>	<b>1 Semana</b>	<b>2 Semana</b>	<b>% CV</b>
ED-20	10,35	11,92	7,51
ED-50	30,87	34,93	6,93
ED-80	63,30	68,71	4,69
S. Control	1,25	1,07	9,46
Control 1	0,46	0,43	12,32
Control 2	10,98	9,62	6,90
Control 3	27,53	26,21	3,93
Promedio			7,39

## CONCLUSIONES

- Se evaluó el funcionamiento del diagnosticador IRMA-hTSH y los resultados fueron los siguientes:
- Límite de detección 0,014 mU/L.
  - Valores normales 0,52 y 3,92mU/L.
  - Precisión: Repetibilidad intraensayo CV= 3,32%.  
Reproducibilidad interensayo CV= 8,36%.
  - Exactitud: Ensayo de recobrado 105,5%.

Se realizó el estudio de estabilidad y se definió el período de validez del diagnosticador IRMA-hTSH. El período de validez es de siete semanas, con una cobertura del 30%. El diagnosticador IRMA-hTSH es estable y determina concentraciones de hTSH con exactitud y precisión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GUYTON, A.C., Tratado de fisiología medica II, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba 1984.
- [2] BEDOLLA, N. y otros, Análisis de datos y control de calidad en el radioinmunoanálisis, Guía para la evaluación de resultados, Invest. Clin., México, 1984.
- [3] ZULEMA, F. y otros, Normalización y control de la calidad del radioinmunoanálisis, Buenos Aires, 1980.
- [4] CECMED, Regulación 20-2000 del CECMED, Buenas prácticas para la producción de diagnosticadotes, Cuba.

Los metales pesados han acompañado al hombre durante su historia. Desde épocas remotas (siglo XVI a. n.e.) estos metales han estado asociados al poderío de los imperios y al esplendor de sus culturas.

Los histo  
para den  
de las ed  
Pero en l  
cumple p  
está sepa  
induso d  
uno de lo  
que inter  
Así pues,  
metales p

El uranio  
descubie  
óxido de  
tuvo una  
primeras  
1939 cua  
toman in  
liberación  
el proyec  
que el ur  
combusti  
muy baja  
aumenta  
enriquec  
cantidad  
uranio en  
238 y po

Medio sig  
miles de  
medio m  
un proce  
por la pr  
foráneas

El uranio  
proyectil  
permiter  
material  
tanto cal

Cuando  
uranio empobrecido arde y se c  
tóxicas y radiactivas. Los mecan  
las mucosas ciliadas y la inmuno  
vías respiratorias- no protegen l  
inhalado. El peligro se deriva pr  
capaces de penetrar profúndam  
produce abundantemente duran  
empobrecido.

La Organización Mundial de la S  
concentración de metales pesad  
plomo y mercurio. En el caso de  
concentración máxima tolerable  
aire.

Estimaciones realizadas indican  
uranio empobrecido como cons  
inmediatamente después del im  
conducir a una aguda intoxicació  
empobrecido que queda en sus  
en el entorno del blanco oscila entre 0,3 y 30 milésimas de gramo por metro  
cúbico de aire. Como puede observarse estas concentraciones superan  
abrumadamente las concentraciones tolerables mencionadas anteriormente.

mejores resultados,

la  
ducción a  
n",  
uentes de  
Europea

do por hidrógeno  
or las calles de  
de Islandia, con el fin  
emisiones  
biente, además de  
autobús, dotado de  
utilizan hidrógeno  
ible común, es  
ecto de ECTOS  
nsport System),  
a (UE)  
tes

a se  
rtación  
ses  
en las  
hora la  
ta tan  
ipo de  
za al  
con  
oyecto  
tiliza de  
s  
tre las  
nativas

hasta ahora estudiadas el  
hidrógeno es el que ha dado

Serie Energía

# Alerta B O L E T Í N INFORMATIVA

CUBAENERGÍA, Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía

No. 16

**Publicamos trimestralmente datos y hechos relevantes, así como las tendencias y logros científicos de la energética en Cuba y el mundo.**

**Usted puede solicitarnos la ampliación de un tema publicado o la inclusión de alguno de su interés. También aceptamos colaboraciones.**

Ahora también puede consultarnos de manera electrónica en [www.cubaenergia.cu/bol-alert-inf/bol-alert-inf.htm](http://www.cubaenergia.cu/bol-alert-inf/bol-alert-inf.htm) o solicitar su inscripción a nuestro boletín electrónico trimestral.

Para mayor información escribanos a [comercial@cubaenergia.cu](mailto:comercial@cubaenergia.cu)

## publicación trimestral sobre temas de ENERGÍA

Ud. puede adquirir nuestro Boletín mediante venta o suscripción.

Su pago puede ser en efectivo o por cheque.

El precio de venta por ejemplar es \$1.50 MN/MLC y la suscripción anual (4 Nos) es \$ 5.00 MN/MLC

Para adquirir el Boletín diríjase a:

[comercial@cubaenergia.cu](mailto:comercial@cubaenergia.cu)

Dirija el cheque en MN a: Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía.

Cuenta No 40242110091013 y en MLC a CITMA-Nuclear: 000855



# ARCAL

protección radiológica

seguridad nuclear

sanidad humana

agricultura

hidrología

industria

ciencias físicas y químicas

información nuclear

instrumentación nuclear

Del 23 al 27 de junio del 2003 se celebrará en Cuba la IV Reunión Anual del Órgano de Coordinación Técnica (OCTA) del Acuerdo Regional de Cooperación para la promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL).

En la reunión participarán los Coordinadores Nacionales del programa ARCAL integrado por 20 países de América Latina y el Caribe.



# nucleus

## LA REVISTA NUCLEAR DE CUBA

Una publicación semestral que divulga los avances y perspectivas de la energía nuclear en Cuba, así como otros temas de interés nacional e internacional relacionados con esta rama de la ciencia y la tecnología.

A través de Nucleus usted podrá conocer los logros de la aplicación de las técnicas nucleares en nuestro país en la medicina, la biología molecular, radiobiología, biotecnología, agricultura y la industria entre otros campos.

Publicamos artículos de especialistas nacionales y extranjeros que deseen enviar sus trabajos en español e inglés.

### **Si desea anunciarse en nuestra Revista siempre tendremos un espacio para usted**

Las tarifas corresponden a una inserción del anuncio en español. Si desea aparecer en Nucleus por más de una ocasión puede disfrutar de los siguientes descuentos:

Por dos inserciones	10%
Por cuatro inserciones	15%

Ofrecemos también servicios de diseño y realización de su anuncio a precios que se convenian directamente con el interesado.

### **TARIFAS DE ANUNCIOS**

Ubicación	Blanco y negro	A color
Reverso de portada y contraportada	600	800
Doble página	800	1000
Una página	400	600
2/3 página	300	500
1/2 página	200	300

PARAMÁS INFORMACIÓN CONTÁCTENOS EN:  
Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA)  
Calle 20 No. 4111-4113 e/ 18A y 47, Miramar, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba.  
Teléfono: 203 14 12 / 202 75 27 Fax: 204 11 88  
E. Mail: comercial@cubaenergia.cu

# EROSION FEATURES IN MEDITERRANEAN LANDSCAPES ASSESSED BY FALLOUT $^{137}\text{Cs}$

A. Navas Izquierdo  
Estación Experimental de Aula Dei. CSIC, Zaragoza, Spain

## ABSTRACT

In this work, the  $^{137}\text{Cs}$  technique is applied as an approach to examine the environmental impact of erosion and sedimentation on soil and water sustainability in Mediterranean landscapes of NE Spain. This region has a large diversity from the semiarid steppe in the centre of the Ebro valley to alpine mountains in the Pyrenees Range. The role played by land cover and cultivation on soil loss is assessed on representative slopes of the physiographic variety in central Ebro basin by using the radiometric technique. These case-studies evidence the fragility of Mediterranean agrosystems and the need for establishing land management practices aimed to landscape conservation as in this environment soil essentially constitutes a non-renewable resource.

## EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA EROSIÓN EN ZONAS MEDITERRÁNEAS MEDIANTE EL CESIO $^{137}\text{Cs}$ PRECIPITADO

## RESUMEN

En este trabajo se aplica la técnica del Cs-137 para evaluar el impacto medioambiental de la erosión y sedimentación en la sostenibilidad de los suelos y el agua de la zona mediterránea del nordeste de España. Esta región tiene una gran diversidad de estepas semiáridas en el centro del valle del Ebro hasta las montañas alpinas de los Pirineos. La importancia de la cubierta del terreno y el cultivo en la pérdida de los suelos se evalúa en las pendientes representativas de la variedad físico-geográfica de la cuenca del Ebro central mediante la técnica radiométrica. Los estudios de caso evidencian la fragilidad de los agrosistemas mediterráneos y la necesidad de establecer prácticas de gestión de las tierras para la conservación de los terrenos, ya que en este medio el suelo constituye un recurso no renovable.

*Key words: cesium 137; soil conservation; erosion; sediments; ambient temperature; mountains; landscaping; environmental impacts*

## INTRODUCTION

Some regions in Spain, as Aragón in the middle Ebro basin, are suffering important soil losses affecting productivity of rainfed agriculture. The extent of this problem has motivated much concern about the future of our fragile agrosystems. The need for implementing soil conservation measures in a context of landscape and soil conservation require first of all to know the features and magnitude of soil movement. To this purpose, we apply the  $^{137}\text{Cs}$  radiometric technique as sediment tracer. This radioisotope has been widely applied in many different environments around the world [1-3] and it has proved to be a reliable method for describing these processes in the Ebro basin [4,5].

Soil losses are influenced by various factors among which climate, soil types, slope orientation, vegetation cover and land use are the more relevant. The role played by these factors depends on the physiographic characteristics of the environments and have derived implications for infiltration, runoff and consequently affect the erosion process [6]. In the central part of the Ebro basin, a climatic gradient exist from the valley centre with semiarid climate (300 mm of annual rainfall) towards the temperate Pyrenean middle mountains (>800 mm). In this paper we analyse the erosion pattern in two very contrasting landscapes by fallout  $^{137}\text{Cs}$ . One of the study sites is located in a semiarid environment near Ejea city and the other lies near

Jaca in a temperate environment of the Pyrenean middle mountains. Our aim is to assess the role of land cover and cultivation on soil loss in this two environments, as an approach to suggest guidelines for soil sustainability.

**MATERIALS AND METHODS**

The semiarid and temperate study areas present different physiographic characteristics and they are located in the middle Ebro basin (figure 1). Their main differences are climate, soil types and land cover. In the semiarid Ejea site, located in the central part of the Ebro valley, marls and limestones compose a landscape of high Tertiary plateaux dissected by a fluvial network, flooding towards the Ebro river. On the slopes, stony soils are mainly Regosols covered partially by shrubs. Cultivated fields occupy flat or gentle slope areas of Cambisols and Calcisols. The mean annual rainfall is below 400 mm, and occurrence of short and intense storm events increase the erosion risk. In this area agrosystems are very fragile.

The temperate site around Jaca, is located in the central part of the Pyrenees. Materials in the area are sandstones and marls that form a mountainous landscape. Cambisols and Kastanozems predominate on slopes covered by dense pine wood on the North facing slopes and *Quercus gr. faginea* forest and shrubs on the sunny ones. Soils are more fertile, deeper and better developed than in the semiarid site. Annual rainfall is around 1000 mm. Land use is mainly as meadows as well as for cereal cultivation.

Fallout <sup>137</sup>Cs is applied as tracer of sediment movement. On selected sites of both semiarid and temperate environments, the soil loss or gain is identified by comparing the radioisotope levels over the site with the total fall-out to the site. Whole core samples were collected on a grid pattern of sampling points that were separated around 25 m each, by using an automatic core driller. Along slope transects, samples were sectioned at 5 cm depth increments to examine the <sup>137</sup>Cs depth profile in order to identify samples as stable, eroding or aggrading points. The depth of sampling was between 30 and 40 cm and retained the entire <sup>137</sup>Cs profile.

The methodology for natural gamma-emitting radionuclides analysis is described in detail in [7]. The samples of the fraction under 2 mm are measured using gamma spectrometry in order to obtain the concentration of <sup>137</sup>Cs (mBq.g<sup>-1</sup>) from the number of counts under its photopeak of 662 keV. <sup>137</sup>Cs is expressed per unit area in mBq.cm<sup>-2</sup>. Measurements of radionuclides activities in soil samples were undertaken by using a high resolution,

low background, hyperpure coaxial gamma-ray detector (EG&G ORTEC HPGe) coupled to an ORTEC amplifier and multichannel analyser. The detector is surrounded with shielding material to reduce the background counting rate.

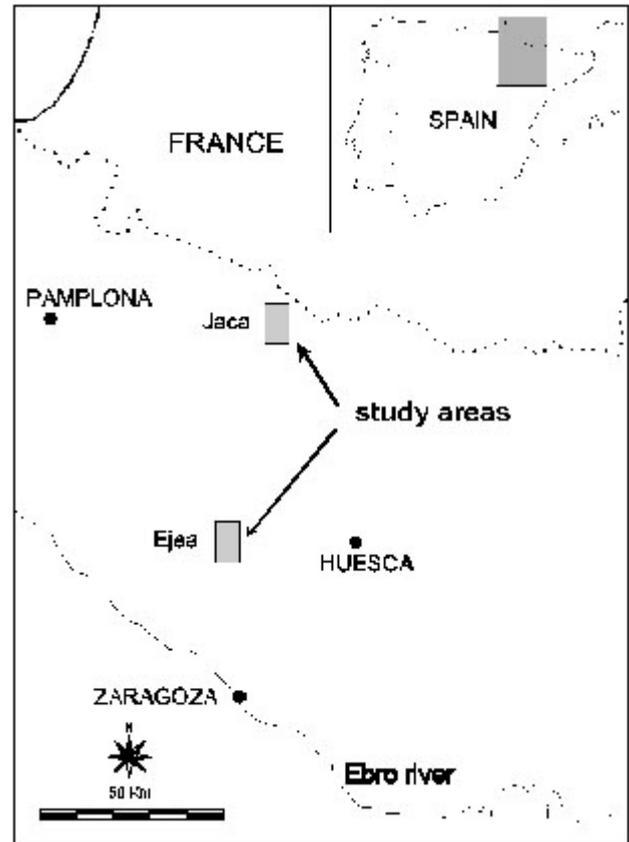


Figure 1. Geographical situation of the studied sites.

**<sup>137</sup>Cs PROFILES IN THE SEMIARID AND TEMPERATE ENVIRONMENTS**

The average <sup>137</sup>Cs inventory for the Ejea semiarid area is around 190 (±20) mBq.cm<sup>-2</sup>, whilst in the temperate environment, the input fallout is around 400 (±25) mBq.cm<sup>-2</sup>. At each site, inventories were calculated from 9 soil samples collected at stable sites. As can be seen in figure 2, at stable sites the <sup>137</sup>Cs profile shows the typical pattern of accumulation in the upper 10 cm and below this layer it shows a sharp exponential decrease with depth. At the semiarid site, the <sup>137</sup>Cs concentration at surface layers ranges between 20 to 27 mBq.g<sup>-1</sup>, and between 10 to 15 mBq.g<sup>-1</sup> at 5-10 cm depth. Below 10 cm, values are around 5 mBq.g<sup>-1</sup> and decrease sharply to undetectable levels at depths higher than 30 cm. At the temperate site, the <sup>137</sup>Cs concentration at 0-5 cm depth ranges between 30 to 37 mBq.g<sup>-1</sup>, and between 20 to 25 mBq.g<sup>-1</sup> at 5-10 cm depth. Below 10 cm, values are around 10 mBq.g<sup>-1</sup> and also

decrease sharply to undetectable levels at depths higher than 30 cm. Therefore, in average, concentrations are more than 50% higher in the temperate than in the semiarid environment.

Along the slope of both environments a variety of  $^{137}\text{Cs}$  profiles are found. Figure 3 presents a selection of the most representative profiles: stable, eroding, aggrading and ploughed profiles, where the radioisotope is evenly distributed along the soil

profile. In general, the above mentioned sequence is mostly found respectively at hill top, mid slope and bottom slope locations. Nevertheless, this pattern can be modified by several factors, as the presence of rock outcrops, stones or shrubs after a bare soil surface that may favour the accumulation of detached particles. Therefore aggrading profiles can be found at locations such as mid slope where normally eroding profiles would be expected due to the common lack of vegetation that promote erosion by runoff.

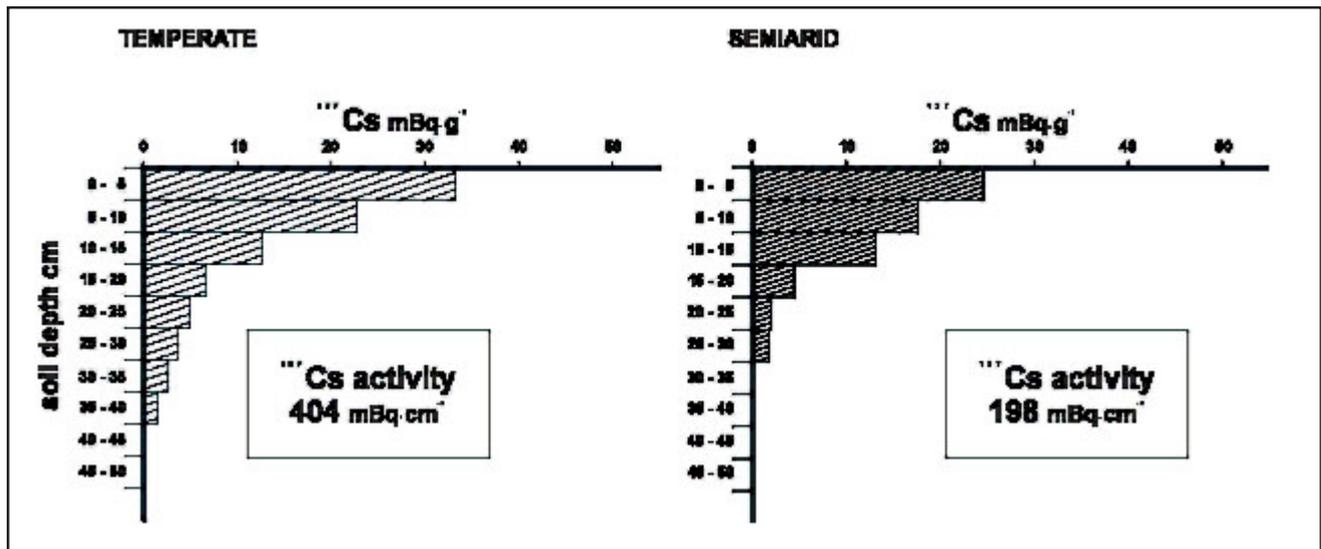


Figure 2.  $^{137}\text{Cs}$  reference inventories for the semiarid and temperate environments.

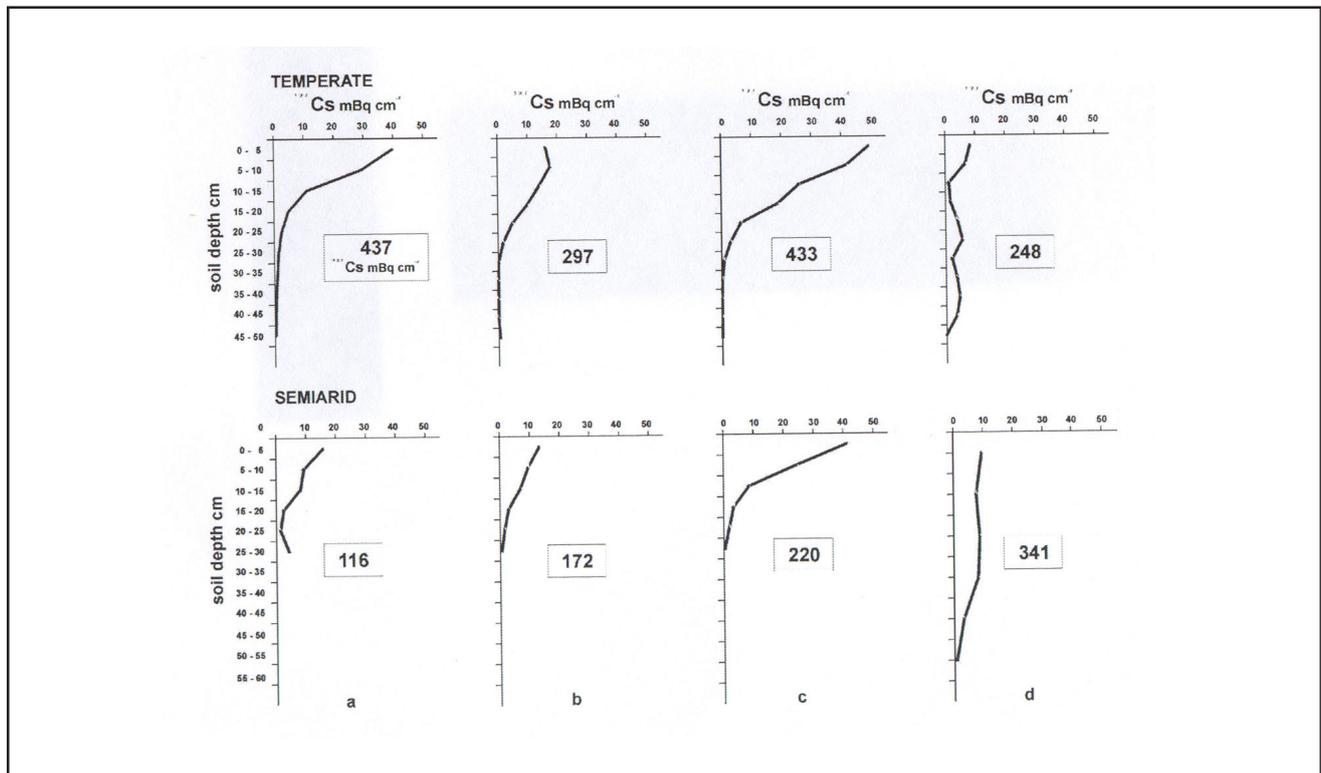


Figure 3. Typical depth profiles along slopes in the semiarid and temperate environments.

**THE ROLE OF LAND USE AND LAND COVER ON SOIL MOVEMENT**

The effect of land use on soil movement has been assessed in both environments, by measuring the <sup>137</sup>Cs activities under two different land uses: cultivated and uncultivated, i.e. under natural vegetation cover. For each land use, two sampling sites separated by a distance no longer than 1 km were selected. In each site, samples were collected on a grid pattern. In the semiarid environment, 9 samples separated around 25 m were taken in each site totalling 36 soil samples. In the temperate environment, the two cultivated sites had 15 samples, 8 and 7 respectively, and 12 samples (6 + 6) were taken at the two uncultivated sites. Table 1 shows some characteristics of the study sites.

At the semiarid environment, due to limiting edaphic and climatic conditions most cultivated soils are on flat top surfaces on plateaux or hills, valley floors, or on gentle slopes. The cultivated sites selected for this study are quite level (2% and 5% slope) and they are planted with cereals (barley) grown one year in two. At the uncultivated sites on shrubland slopes (25% and 30% slope), almost half of its surface is naturally vegetated with small shrubs and grasses, but there are also patches with no vegetation as well as others covered only with stones.

Data presented in table 2, show that at both cultivated sites, the average <sup>137</sup>Cs activity deviates from the reference inventory for the area. At the 2% slope site, activity is 16% lower than the inventory. At the 5% slope site average activity is 14% higher than the inventory and the standard deviation (sd) is very high (134.4 mBq. cm<sup>-2</sup>) suggesting that there is an important redistribution of sediments at this site that could may be due to its higher slope compared with the former almost level site. The uncultivated sites have also average activity values that differ from the reference inventory, the 30% slope site has an average activity 10% higher than the inventory while the 25% slope site has activity values that in average are 17% lower than the reference inventory.

At the uncultivated slope, the less sloping site has the higher variability suggesting that its higher redistribution of sediments could be related to the lower percentage of vegetation covering the soil surface at this site which is around 10% lower than at the former site. Therefore, the vegetation cover would counteract the effect of the higher slope in increasing soil movement and consequently soil erosion would be more intense in the less vegetated site.

In the temperate environment, because its mountaineous landscape, cultivated fields occupy

Table 1. Edaphic and physiographic characteristics of the studied sites

		<b>slope %</b>	<b>vegetation cover %</b>	<b>soil type</b>	<b>pH</b>	<b>OM%</b>	<b>CO<sub>3</sub> %</b>
<b>semiarid</b>	cultivated	12	-	cambisol	8.7	2.5	25
		5	-	calcisol	8.7	1.3	55
	uncultivated	30	50	regosol	8.7	3.0	39
		25	40	regosol	8.8	3.1	42
<b>temperate</b>	cultivated	12	-	cambisol	8.0	2.6	27
		15	-	cambisol	8.8	2.7	35
	uncultivated	24	70	kastanozem	8.3	3.9	31
		26	70	kastanozem	8.4	3.5	40

Table 2. Least square means of the caesium<sup>137</sup> activity and standard deviation in the studied sites of the semiarid and temperate environments. (Different letters indicate statistically significant differences)

		n	<sup>137</sup> Cs nB q.cm <sup>-2</sup>	
			mean	sd
<b>semiarid</b>	cultivated	9	160.5 a	36.2
		9	215.9 a	134.4
	uncultivated	9	209.9 a	48.2
		9	157.0 a	60.6
<b>temperate</b>	cultivated	8	499.4 a	84.9
		7	333.6 b	86.5
	uncultivated	6	387.2 b	58.2
		6	385.2 b	88.1

areas, generally valley bottoms, with slopes higher than in the semiarid environment. In the 12% slope cultivated site, average <sup>137</sup>Cs activity is 25% higher than the inventory, while at the 15% slope average activity is 17% lower than the inventory. Both sites have high and very similar sd values, suggesting that redistribution of sediments is also quite intense and opposite because aggradation predominates in the former site and erosion in the latter. Because both sites have very similar slopes, although it is slightly higher in the most eroded site, this small difference in slope value, does not seem to be enough to justify the dissimilarity in soil movement patterns. An explanation could be due to differences in topography or land management in the studied sites.

As expected, the ANOVA test indicated that statistically significant differences in mean radioactivities exist between the semiarid and temperate environments.

The percentages of deviation of <sup>137</sup>Cs activities in comparison with the reference inventories for the semiarid and temperate environments are shown for each site in figure 4. In the semiarid environment, at the 2% slope cultivated site, two sampling points are stable, six are eroding points of which in two of them erosion is not very intense, and sediments accumulate only at one sampling point. The higher slope seems to affect soil movement as there is a more intense soil redistribution at the 5% slope cultivated site, in which only two are stable points,

four are aggrading points and three are eroding points.

At the uncultivated sites, the 30% slope is a quite stable site, the <sup>137</sup>Cs activity is comparable to the reference inventory at six sampling points, two are aggrading points and slight erosion occurs at just one sampling point. The situation is different at the 25% slope uncultivated site, where erosion predominates as depletion is clearly registered in six sampling points, only two are stable points and some sediment accumulation is registered at just one sampling point. In a similar environment nearby [8] found that erosion rates on cultivated land on gentle slopes were five times higher than in sloping uncultivated land.

In the temperate environment, although sites have very similar slope values, both cultivated sites differ markedly in their <sup>137</sup>Cs activities. At the 12% slope site, only two sampling points have values similar to the reference inventory and the remaining six are aggrading points. Conversely at the 15% slope site, erosion predominates as only three points are close to the reference inventory and the remaining five are eroding points. Therefore apart from differences in tillage or other land management practices, the reason for this dissimilarity could be due to their respective topographic positions within the landscape, because although both are at bottom slope positions, the 12% slope site is located along the maximum slope line, and this could mean that higher load of sediments are mobilized along this line from up-slope, and as a result aggradation exceeds erosion at this site in comparison with the 15% slope site that has a lateral position along the main slope line.

In the temperate uncultivated sites, the distribution of <sup>137</sup>Cs activities is very similar and, in average, their point values, only deviate slightly (- 3%) from the reference inventory. Although erosion slightly predominates in both sites, the remaining sampling points are half each stable and aggrading respectively.

It can be said, in general, that the larger variability in <sup>137</sup>Cs activities is found at the cultivated sites of both environments, the highest being at the 5% slope in the semiarid environments, but it is also found that when cultivation is done on almost level surfaces soil movement is not very important. These findings strengthen previous results that indicated that cultivation in semiarid environments was a main factor causing soil erosion [9] and also agree with other authors that disclosed the key role of tillage on soil movement and redistribution across cultivated fields [10,11].

At the uncultivated sites with higher slopes in both environments compared with the cultivated sites, the

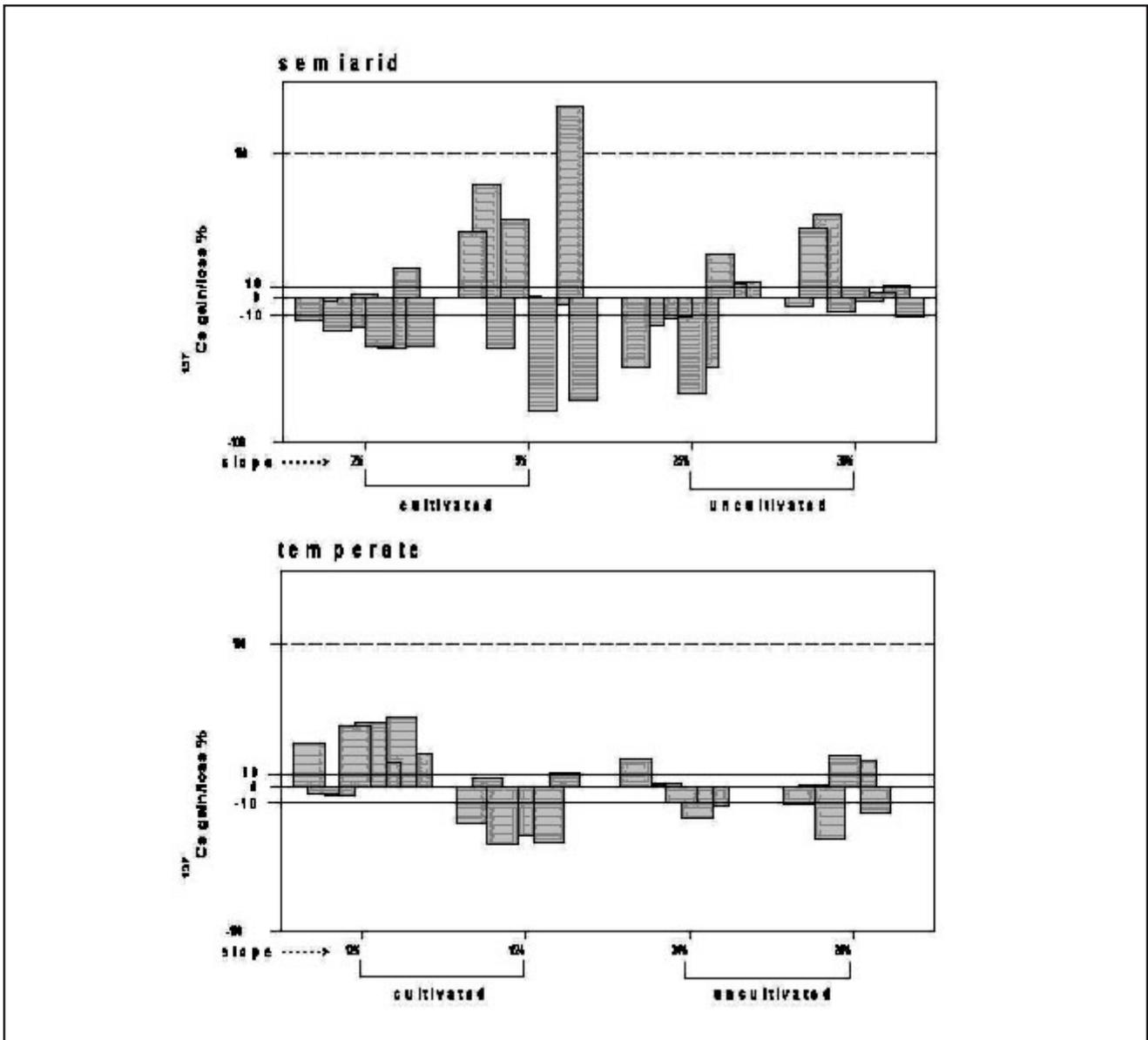


Figure 4. Percentages of  $^{137}\text{Cs}$  deviation from the input fallout (gain or loss) in the cultivated and uncultivated soils of the semiarid and temperate environments.

land cover of shrubs protects the soil surface and counteracts the effect of the slope gradient. In average, percentage deviations from the  $^{137}\text{Cs}$  inventories are lower in the temperate environment as could be expected because of its higher percentage of surface covered by vegetation (>70% against <50% in the semiarid environment).

In comparison, the higher fragility of the semiarid environment is evidenced by the fact that even small differences in the percentage of surface covered by vegetation (less than 10%) can not compensate the lower slope and erosion is higher at the less sloping site. In spite, that soil redistribution is more intense in

cultivated soils, also the uncultivated shrublands exhibit a large variation in radioactivities, indicating than in both environments almost all situations (stable, eroding or aggrading) can be found along short distances.

### CONCLUSIONS

Fallout  $^{137}\text{Cs}$  has been confirmed as a useful tracer of soil movement and served to assess the influence of land use and slope on soil redistribution, as well as to confirm the different erosion patterns found in uncultivated and cultivated fields of semiarid and temperate environments. Results from this study show

the impact of land uses in semiarid and temperate Mediterranean environments. In both environments cultivation on sloping surfaces is a main factor causing erosion, consequently any attempt to reduce soil loss and off-site impacts should be focused on erosion control of the cultivated land. In the studied sites, it is found that the shrubs cover protects quite efficiently the soil surface from erosion.

**Acknowledgements:** This work was funded by CICYT throughout their research projects AMB93-0806 and RADIERO (REN2002-02702/GLO).

## REFERENCES

- [1] RITCHIE, J.C., MCHENRY, J.R., GILL, A.C., Fallout Cs-137 in the soils and sediments of three small watersheds, *Ecology*, 55(1974)887-890.
- [2] LONGMORE, M.E., O'LEARY, B.M., ROSE, C.E., CHANDICA, A.L., Mapping soil erosion and accumulation with the fallout isotope caesium 137, *Australian Journal of Soil Research*, 21(1983)373-385.
- [3] WALLING, D.E., BRADLEY, S.B., WILKINSON, C.J., A caesium-137 budget approach to the investigation of sediment delivery from a small agricultural drainage basin in Devon, UK., *International Association of Hydrological Sciences Publication*, No. 159(1986)423-435.
- [4] NAVAS, A., MACHÍN, J., A preliminary research on the use of cesium 137 to investigate soil erosion in semiarid landscapes in central Ebro river valley, pp. 191-202. In: M. Sala, L. Rubio, and J.M. García-Ruiz (eds.), *Soil erosion studies in Spain*, Geofoma Ediciones Logroño, 1991.
- [5] NAVAS, A., WALLING, D., Using caesium137 to assess sediment movement on slopes in a semiarid upland environment in Spain, In: *Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions*, IAHS Publ. 209(1992)129-138.
- [6] GARCÍA-RUIZ, J.M., LASANTA, T., ORTIGOSA, L., RUIZ-FLAÑO, P., MARTÍ, C., GONZÁLEZ, C., Sediment yield under different land uses in the Spanish Pyrenees, *Mountain Research and Development*, 15(1995)229-240.
- [7] NAVAS, A., Cuantificación de la erosión mediante el radioisótopo cesio 137 Cuadernos Técnicos de la Sociedad Española de Geomorfología, Geofoma Ediciones, Logroño, 8(1995)16.
- [8] QUINE, T.A., NAVAS, A., WALLING, D.E., MACHÍN, J., Soil erosion and redistribution on cultivated and uncultivated land near Las Bardenas in the central Ebro river basin, Spain, *Land Degradation, Rehabilitation*, 5(1994)41-55.
- [9] NAVAS, A., GARCÍA-RUIZ, J.M., MACHÍN, J., LASANTA, T., VALERO, B., WALLING, D.E., QUINE, T.A., Soil erosion on dry farming land in two changing environments of the central Ebro Valley, Spain, *Human Impact on Erosion and Sedimentation*, 345(1997)13-20.
- [10] QUINE, T.A., WALLING, D.E., CHAKELA, Q.K., MANDIRINGANA, O.T., ZHANG, X., Rates and patterns of tillage and water erosion on terraces and contour strips: evidence from caesium 137 measurements, *Catena*, 36(1-2) (1999)115-142.
- [11] ZEBARTH, B.J., REES, H., WALSH, J., CHOW, L., PENNOCK, D.J., Soil variation within a hummocky podzolic landscape under intensive potato production, *Geoderma*, 110(2002)19-33.

# SUCESOS INICIADORES DE ACCIDENTES EN LA PRÁCTICA DE COBALTOTERAPIA EN CUBA

Juan José Vilaragut Llanes, Rubén Ferro Fernández, Bertha Lozano Lima, Andrés de la Fuente Puch, Cruz Duménigo González, Mayra Troncoso Fleitas, Yolanda Pérez Reyes  
Centro Nacional de Seguridad Nuclear; Ciudad de La Habana, Cuba

*Palabras clave: risk assessment; safety analysis; probabilistic estimation; radiotherapy; gamma sources; medical establishments; regulations; accidents; cobalt 60*

## INTRODUCCIÓN

Los reportes de accidentes en radioterapia [1-3] identifican cientos de incidentes o accidentes relacionados con el uso terapéutico de las radiaciones ionizantes. La revisión de sus causas confirma que rara vez los accidentes ocurren debido a un fallo único o error humano aislado, sino que son producto de la combinación de distintos eventos que denotan un debilitamiento de la defensa en profundidad de la práctica. Los riesgos asociados al proceso de tratamiento con cobaltoterapia son altamente dependientes de acciones humanas.

Un tratamiento efectivo depende no sólo del funcionamiento exitoso de los equipos y de la correcta implantación de los procedimientos de aseguramiento de la calidad, sino que depende en gran medida de la realización exitosa de un conjunto de pasos, tareas y subtareas que involucran a un grupo multidisciplinario de oncólogos, físicos, técnicos y especialistas. Estudios previos relacionados con la evaluación de la incidencia de los factores humanos en teleterapia han identificado más de 170 errores humanos que se pueden cometerse durante las distintas tareas de un proceso de tratamiento [4].

Teniendo en cuenta estos elementos se decidió realizar un Análisis Probabilista de Seguridad (APS) a la práctica con cobaltoterapia en Cuba. El APS [5] es una metodología que combina diferentes herramientas para realizar una investigación sistemática, exhaustiva y estructurada de los diferentes escenarios de riesgos que pueden conducir a un evento no deseado (*secuencias accidentales*) a partir de la ocurrencia de fallos de equipos o errores humanos (*sucesos iniciadores de accidentes*).

La identificación de los sucesos iniciadores de accidentes es una de las etapas más importante en un APS, ya que un peligro no identificado es un

peligro que no va a ser considerado en los análisis posteriores. Sin embargo, aunque se han divulgado algunos sucesos iniciadores de accidentes, fundamentalmente como causas raíces de accidentes conocidos [1], no se conocen estudios previos donde se haya publicado una lista completa de sucesos iniciadores genéricos en el proceso de tratamiento con teleterapia.

En el presente trabajo se muestran los principales elementos considerados durante la determinación de la lista de sucesos iniciadores de accidentes en la práctica de cobaltoterapia de la Unidad Oncológica de Pinar del Río [5].

## METODOLOGÍA

Los análisis probabilistas de seguridad comienzan con la identificación de una serie de eventos postulados, denominados sucesos iniciadores de accidentes que tienen la posibilidad de provocar una consecuencia inaceptable si se combinan con indisponibilidades y fallos de alarmas, enclavamientos, sistemas de seguridad y los procedimientos previstos para prevenir o mitigar la ocurrencia de tales consecuencias. La determinación de los sucesos iniciadores de accidentes se realizó a través de la técnica de identificación de riesgos: Análisis de Modos y Efectos de Fallos (FMEA).

El FMEA es un método inductivo de tormenta de ideas para la identificación de peligros basado en la pregunta ¿qué pasa si...? Con esta herramienta se evalúan las vías por las cuales puede fallar el equipamiento, ser operado inadecuadamente, o los errores humanos asociados a una tarea o etapa del tratamiento y los efectos que estos fallos y errores pueden tener. Las descripciones de los sistemas y de las distintas etapas del proceso de tratamiento, que previamente fueron generados como parte del proyecto de APS, constituyen la base para determinar los modos de fallos y errores humanos que pueden conllevar a una consecuencia inaceptable.

La práctica médica impone ciertas variables y requisitos que no son comunes en otras prácticas [7]. La definición de consecuencias inaceptables incluye tanto límites superiores como inferiores, ya que una subirradiación no detectada podría tener consecuencias tan negativas sobre el paciente como una sobreirradiación, ya que si no se detiene el progreso de la enfermedad, podía ocurrir un desenlace fatal, que se hubiera podido evitar con un tratamiento correcto. Pero las consecuencias inaceptables, no sólo se limitan a errores en las magnitudes de dosis, también incluyen administración de la terapia a otro paciente o en otro tejido.

Es decir, como sucesos iniciadores de accidentes en el proceso de tratamiento de cobaltoterapia, se entenderán todos los fallos de equipo o errores humanos que pudieran conllevar a las siguientes consecuencias: tratamiento a otro paciente, mayor o menor dosis que la deseada al volumen blanco, dosis no deseada a tejido normal, no irradiadas partes del volumen con tratamiento, dosis no homogéneas en todo el volumen blanco, exposición accidental de los trabajadores y exposición del público.

El FMEA fue realizado en sesiones independientes para cada uno de los pasos del proceso de tratamiento y de los sistemas tecnológicos que se incluyeron en el alcance de este estudio y con la participación de personal de todas las especialidades que intervienen en cada paso directa o indirectamente, así como entidades relacionadas con la práctica de cobaltoterapia en el país.

### PRINCIPALES RESULTADOS DEL FMEA

Para la realización del FMEA, la unidad de cobaltoterapia se dividió en 13 sistemas tecnológicos y el proceso de tratamiento en 10 etapas principales\*. Se analizaron todos los modos de fallo de cada uno de los sistemas tecnológicos y todos los posibles errores humanos durante cada una de las tareas del proceso de tratamiento.

Como resultado del FMEA se identificaron 225 causas raíces de sucesos iniciadores de accidentes en la práctica de cobaltoterapia, de las cuales 57

corresponden a modos de fallos de equipos y 168 a errores humanos durante el proceso de tratamiento. Pueden provocar una degradación de la defensa en profundidad de la práctica 35 modos de fallos de equipo. Las figuras 1, 2 y 3 muestran estos resultados.

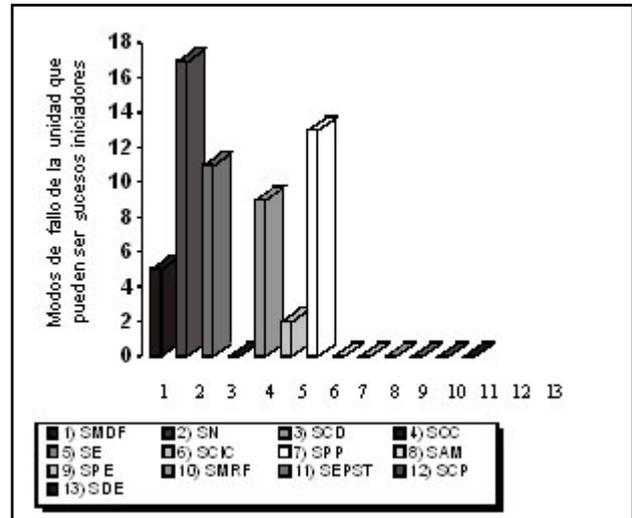


Figura 1. Cantidad de modos de fallos de la unidad que pueden ser sucesos iniciadores de avería.

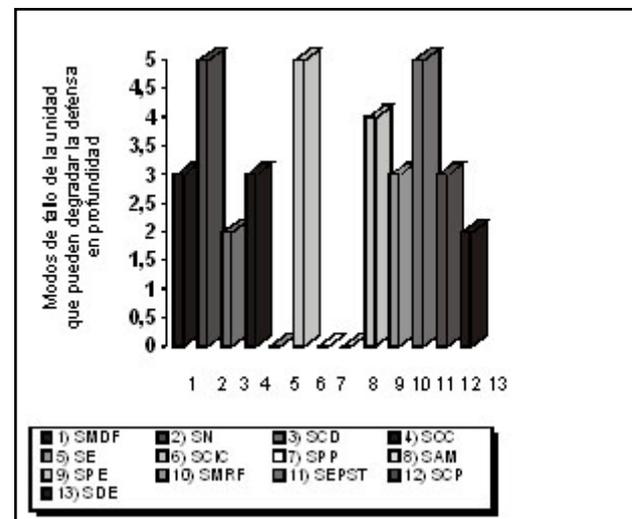


Figura 2. Cantidad de modos de fallos de la unidad que pueden degradar la defensa en profundidad.

\* La unidad de cobalto fue dividida en los siguientes sistemas: SMDF: Sistema Mecánico de Desplazamiento de la Fuente, SN: Sistema Neumático, SCD: Sistema de Control del Drawer, SCC: Sistema de la Consola de Control, SE: Sistema Eléctrico, SCIC: Sistema de Controles e Indicadores del Cabezal, SPP: Sistema de Posicionamiento del Paciente, SAM: Sistema de Accionamiento del Motor, SPE: Sistema de Parada por Emergencia, SMRF: Sistema Manual de Retorno de la Fuente, SEPST: Sistema de enclavamiento de la Puerta de la Sala de Tratamiento, SCP: Sistema de Comunicación con el Paciente, SDE: Sistema del Dosímetro Estacionario. El proceso de tratamiento fue dividido en las siguientes etapas: DP: Diagnóstico de la patología, localización del tumor, Estadío del paciente y definición terapéutica, PMT: Planificación Médica del Tratamiento, PFT: Planificación física del Tratamiento, FA: Fabricación de Aditamentos, ST: Simulación, IT: Inicio del Tratamiento, PPAT: Posicionamiento del Paciente antes del Tratamiento, ATDCC: Administración del Tratamiento desde la Consola de Control, SP: Seguimiento del Paciente, PSU: Puesta en Servicio.

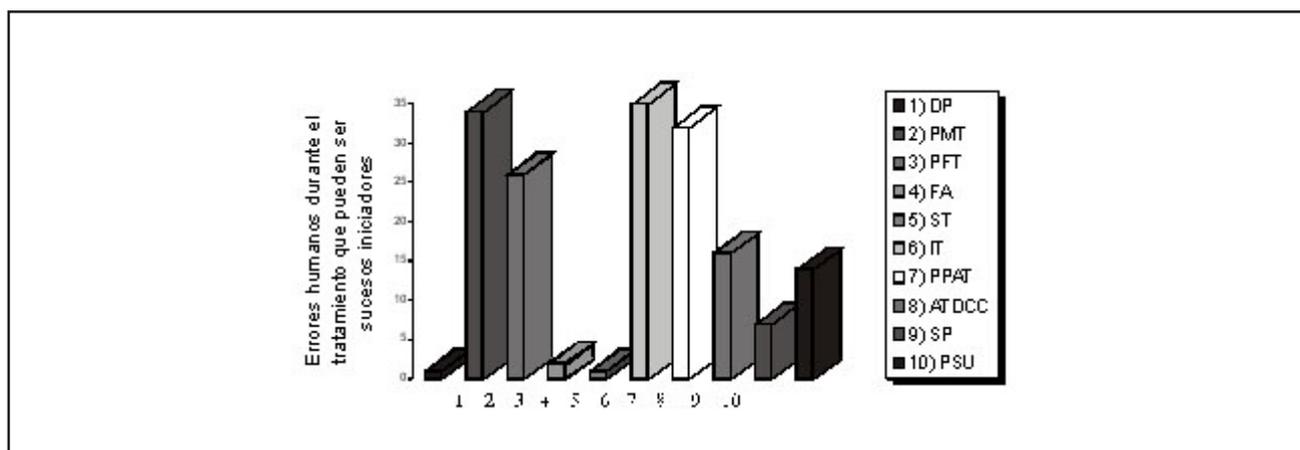


Figura 3. Cantidad de errores humanos durante el tratamiento que pueden ser sucesos iniciadores de avería.

### AGRUPACIÓN DE LOS SUCESOS INICIADORES

La lista completa de causas raíces de los sucesos iniciadores fue determinada a través del FMEA. Sin embargo, para los propósitos de un APS, es necesario reducir o agrupar los sucesos iniciadores de accidentes de forma tal que cada grupo pueda ser modelado a través de un único árbol de eventos, teniendo en cuenta similares respuestas de las funciones de seguridad e idénticos criterios de éxito de las defensas asociadas con las funciones de seguridad.

Con la agrupación de los eventos iniciadores, la cantidad de modelos con árboles de eventos se reduce a un número manejable sin perder ninguna información significativa. En el Apéndice se listan los 46 eventos iniciadores de accidentes agrupados para la práctica de cobaltoterapia, que serán considerados en el análisis probabilista de seguridad. El 75% de los eventos son acciones humanas iniciadoras de accidentes, con la particularidad de que muchas de las acciones humanas son rutinarias, y algunas de ellas se realizan con una frecuencia superior a las decenas de miles de veces en un año.

### CONCLUSIONES

Se han identificado 46 sucesos iniciadores de accidentes de los cuales el 75% corresponde a acciones humanas iniciadoras de accidentes, con la característica de que algunas de ellas son acciones

humanas rutinarias, por lo que un gran número de pasos, tareas y subtareas son realizadas muchas veces cada día, incluso con una frecuencia superior a 40 000 veces por año. Este hecho, unido a que no siempre el concepto de defensa en profundidad está completamente introducido en todas las tareas críticas, permite predecir que la frecuencia de algunos sucesos iniciadores de accidentes durante el tratamiento con cobaltoterapia, puede ser mucho mayor que en los estudios clásicos de Análisis Probabilistas de Seguridad.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lessons learned form accidental exposures in radiotherapy, Safety Reports Series No. 17, IAEA, Vienna, 2000.
- [2] Investigation of an accidental exposure of radiotherapy in Panama, Report of a team of experts, 26 May – 1 June 2001, IAEA, Vienna, 2001.
- [3] Accidental overexposure of radiotherapy patients in San José, Costa Rica, IAEA, Vienna, 1998.
- [4] Human factor evaluation of teletherapy, NUREG/ CR-6277, EEUU, 1995.
- [5] VILARAGUT, J., FERRO, R., y otros. Metodología para la aplicación de las Técnicas de Análisis Probabilista de Seguridad (APS) a las unidades de cobaltoterapia en Cuba. C&S Papers Series 7/P Radiological Protection of patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy. International Conference held in Malaga, Spain, 26-30 March 2001, IAEA, 2001.
- [6] Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plants (Level 1), IAEA Safety Series No. 50-P-4, Vienna, 1992.
- [7] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA Safety Series No. 115. Vienna, 1996.

## ÁMBITO REGULATORIO

### APÉNDICE: LISTADO DE LOS SUCESOS INICIADORES DE ACCIDENTES EN LA PRÁCTICA DE COBALTOTERAPIA

Código	Denominación del Suceso Iniciador de Accidentes
SI <sub>1</sub>	Entrada de una persona a la sala de tratamiento con la fuente expuesta sin haber comenzado un tratamiento.
SI <sub>2</sub>	Atascamiento del drawer con la fuente expuesta durante el tratamiento.
SI <sub>3</sub>	Disminución de la presión de aire en el sistema neumático.
SI <sub>4</sub>	Pérdida del suministro eléctrico.
SI <sub>5</sub>	Tratamiento a paciente hiperactivo o hiperquinético
SI <sub>6</sub>	Movimiento indeseado del paciente durante el tratamiento por fallos del equipamiento.
SI <sub>7</sub>	No funcionamiento del cierre del interruptor de bloqueo a 0°.
SI <sub>8</sub>	Errores de posicionamiento del paciente por descalibración de los equipos.
SI <sub>9</sub>	Desconexión de los tornillos de acople entre las barras del colimador.
SI <sub>10</sub>	Inconsistencia del tiempo de traslado de la fuente.
SI <sub>11</sub>	Error al definir el estadio del paciente.
SI <sub>12</sub>	Error al determinar el corte anatómico del paciente.
SI <sub>13</sub>	Error al determinar la dosis de tratamiento total, dosis de tratamiento diario y el fraccionamiento de dosis.
SI <sub>14</sub>	Error al determinar el Volumen Blanco Clínico (VBC).
SI <sub>15</sub>	Error al determinar los órganos críticos y el tejido sano y sus límites de dosis.
SI <sub>16</sub>	Error al documentar los resultados de la planificación médica.
SI <sub>17</sub>	Utilización de ficheros de datos residentes erróneos asociados a modificadores y atenuadores del haz durante la planificación física del tratamiento.
SI <sub>18</sub>	Error al digitalizar el corte anatómico.
SI <sub>19</sub>	Error al introducir los datos del Volumen Blanco de Planificación (VBP).
SI <sub>20</sub>	Error al establecer la homogeneidad de la dosis en el VBP.
SI <sub>21</sub>	Error al planificar la protección de órganos críticos y tejido sano.
SI <sub>22</sub>	Error en los apuntes de la documentación de la planificación física del tratamiento.
SI <sub>23</sub>	Error en la fabricación de aditamentos.
SI <sub>24</sub>	Error en la simulación del tratamiento.
SI <sub>25</sub>	Error en el marcaje definitivo del volumen blanco a tratar.
SI <sub>26</sub>	Fallo del técnico radioterapeuta al asimilar las particularidades del tratamiento.
SI <sub>27</sub>	Confección errónea de la plantilla.
SI <sub>28</sub>	Posicionamiento erróneo del volumen blanco a tratar.
SI <sub>29</sub>	Error al proteger los órganos críticos y el tejido sano durante el posicionamiento.
SI <sub>30</sub>	Error de posicionamiento que provoca sobreirradiación del volumen blanco.
SI <sub>31</sub>	Error de posicionamiento que provoca subirradiación.

## ÁMBITO REGULATORIO

SI <sub>32</sub>	Error en el posicionamiento que provoca no homogeneidad.
SI <sub>33</sub>	Tiempo de tratamiento diario al volumen blanco mayor que el prescrito.
SI <sub>34</sub>	Tiempo de tratamiento diario al volumen blanco menor que el prescrito.
SI <sub>35</sub>	Aplicación errónea de modo estacionario del tratamiento.
SI <sub>36</sub>	Aplicación errónea de modo rotacional del tratamiento.
SI <sub>37</sub>	Error al registrar los datos de la administración diaria del tratamiento.
SI <sub>38</sub>	Error al ajustar el tratamiento debido a problemas en el progreso del paciente.
SI <sub>39</sub>	Error al documentar los resultados del seguimiento del paciente.
SI <sub>40</sub>	Administrar un tratamiento a otro paciente.
SI <sub>41</sub>	Error en el cálculo del rendimiento absoluto durante la puesta en servicio de la unidad.
SI <sub>42</sub>	Determinación incorrecta del coeficiente de corrección por el tiempo efectivo de irradiación ( $\epsilon$ ).
SI <sub>43</sub>	Determinación incorrecta de los factores de campo.

## EL PROGRAMA NUCLEAR CUBANO TRANSPARENTE PARA EL MUNDO

Marta Contreras Izquierdo<sup>1</sup>, Ulises Fernández Gómez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía, Ciudad de La Habana, Cuba

<sup>2</sup> Director general de la Oficina de Regulación Ambiental y Seguridad Nuclear  
del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Ciudad de La Habana, Cuba

*Palabras clave: regulations; national government; non-proliferation treaty; safeguards; safeguard regulations; Tlatelolco treaty; Cuba*

### INTRODUCCIÓN

A mediados del siglo pasado el profesor francés Gastón Bouthoul expresó: “Por haber permitido nuestro progreso técnico que surgieran armas titánicas, estamos en condiciones de prepararnos para la guerra cada vez mejor; pero para la paz no podemos prepararnos mejor que en la época del arco y la flecha.” [1]

Hoy, en los albores del tercer milenio esta máxima sigue teniendo absoluta vigencia. El gasto militar a nivel mundial se calcula en aproximadamente 240 billones de dólares. Estados Unidos lanza su proyecto de escudo antimisil y los tambores de la guerra se agitan de nuevo en el Medio Oriente en la nueva cruzada “antiterrorista”.

En el plano de las relaciones internacionales se produce una fuerte lucha entre el multilateralismo como vehículo para lograr la seguridad colectiva de las naciones, y el unilateralismo de un Estado que se arroga el derecho de desconocer los acuerdos y tratados internacionales o de tratar de manejar a su antojo las instituciones de la ONU.

Sin embargo, a pesar de la difícil coyuntura actual, Naciones Unidas sigue teniendo un papel relevante en materia de desarme y especialmente en la lucha por la reducción y eliminación total de las armas nucleares, como premisa para preservar la paz y la seguridad internacional.

En este contexto, Cuba decidió a mediados del año pasado adherirse al Tratado de no proliferación nuclear y ratificar el Tratado Tlatelolco “como señal de la clara voluntad política del Gobierno cubano y su compromiso con un proceso efectivo de desarme que garantice la paz mundial”, como expresara el Canciller Felipe Pérez Roque ante el 57 Período de Sesiones de la Asamblea General de las Naciones Unidas. En el momento del anuncio la parte cubana reiteró su posición de principios que, para Cuba, las

doctrinas militares sustentadas en la posesión del arma nuclear son insostenibles e inaceptables, y que reiteró su criterio que a ningún país se le debe permitir el monopolio de las armas nucleares ni su desarrollo cuantitativo y cualitativo.

### Tratado de no proliferación

Desde su propia creación la Organización de las Naciones Unidas promovió los esfuerzos internacionales para llegar a un acuerdo amplio relativo a la no proliferación nuclear.

En 1968 la Asamblea General de la ONU aprobó después de un complicado proceso de negociaciones diplomáticas el Tratado de no proliferación de las armas nucleares (TNP) que finalmente se abrió a la firma ese propio año y entró en vigor en 1970.

El texto del TNP consta de un preámbulo y 11 artículos donde se reconoce la existencia de las potencias nucleares y de los Estados no poseedores y sus obligaciones, las cuales abarcan cuestiones de desarme nuclear y del cese de las pruebas y del perfeccionamiento de las armas atómicas, así como del uso de la energía nuclear con fines pacíficos.

Los compromisos de las potencias nucleares están formuladas en el artículo I: “Cada Estado poseedor de armas nucleares que sea Parte en el Tratado se compromete a no traspasar a nadie armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos ni el control sobre tales armas o dispositivos explosivos, sea directa o indirectamente; y a no ayudar, alentar o inducir en forma alguna a ningún Estado no poseedor de armas nucleares a fabricar o adquirir de otra manera armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, ni el control sobre tales armas o dispositivos explosivos.” [2]

Las obligaciones que el tratado impone a los Estados no nucleares se exponen en el artículo II:

### Salvaguardias del OIEA

El objetivo principal de las salvaguardias del OIEA es dar garantía a la comunidad internacional que un Estado cumple sus compromisos de no proliferación y de la utilización pacífica exclusiva que emanan de su acuerdo de salvaguardias. Los acuerdos de salvaguardias amplias se aplican a todos los materiales nucleares destinados a utilización pacífica en el Estado. En el caso de acuerdos sin carácter amplio las salvaguardias se aplican a los materiales e instalaciones no nucleares especificados en el acuerdo.

“Cada Estado no poseedor de armas nucleares que sea Parte en el Tratado se compromete a no recibir de nadie ningún traspaso de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos ni el control sobre tales armas o dispositivos explosivos, sea directa o indirectamente; a no fabricar ni adquirir de otra manera armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos; y a no recabar ni recibir ayuda alguna para la fabricación de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos.” [3]

El TNP cuenta con un mecanismo de verificación básico denominado sistema de salvaguardias del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), el cual tiene la tarea de impedir la proliferación de las armas nucleares a través de un cuerpo de inspectores internacionales.

En 1995 se celebró la Conferencia de las Partes encargada del examen y la prórroga del TNP. Allí las Partes prorrogaron indefinidamente el Tratado, aprobaron los principios y objetivos de la no proliferación de las armas nucleares y el desarme, consolidaron el proceso de examen del Tratado y ratificaron la importancia de su adhesión universal.

Actualmente el TNP cuenta con 188 Estados Partes que lo convierten en el tratado más universal en materia de limitación de armas de exterminio en masa, por lo que se ha constituido en la piedra angular del sistema internacional de no proliferación nuclear.

### Tratado de Tlatelolco

Los esfuerzos de las Naciones Unidas en materia de desarme nuclear no solo se centraron en el plano más universal, sino que se extendieron a nivel de área geográfica.

El capítulo VIII de la Carta de Naciones Unidas se refiere a la posibilidad de acuerdos regionales “cuyo fin sea entender en los asuntos relativos al mantenimiento de la paz y de la seguridad internacionales y susceptibles de acción regional, siempre que dichos acuerdos y organismos y sus actividades, sean compatibles con los Propósitos y Principios de las Naciones Unidas” (artículo 52, Párr. 1 de la Carta).

El Tratado de Tlatelolco se comenzó a gestar en el contexto de la guerra fría al calor de la crisis surgida con la instalación de los cohetes nucleares en Cuba. Los gobiernos y mandatarios del continente preocupados por el peligro de que la región latinoamericana entrara en una confrontación nuclear con las dos superpotencias mundiales comenzaron a negociar la creación de una zona desnuclearizada en América Latina.

Así el 14 de febrero, luego de largas negociaciones en las que Cuba participó desde el principio, se abrió a la firma el Tratado de Tlatelolco, el cual se inicia con un preámbulo que establece como propósito de los Estados latinoamericanos “poner fin a la carrera de armamentos, especialmente los nucleares, y a la consolidación de un mundo en paz, fundada en la igualdad soberana de los Estados, el respeto mutuo y la buena vecindad.” [4]

El texto consta de varios artículos y dos Protocolos Adicionales. El Protocolo I obliga a los Estados extracontinentales que tengan bajo su control territorios en la Zona, a respetar el estatuto de desnuclearización. El Protocolo II exige a las cinco potencias nucleares a respetar la Zona desnuclearizada que se crea en el Tratado.

A diferencia del TNP, Tlatelolco establece dos etapas, la firma como una muestra de intención y la ratificación con la cual el Estado Parte asume todos los compromisos del Tratado.

El Tratado de Tlatelolco fue el primero que definió las armas nucleares y que obligó a las cinco potencias nucleares (EE.UU., Rusia, Reino Unido, Francia y China) a respetar el status de Zona desnuclearizada creada en la región. La ratificación de Cuba, que había firmado el tratado en 1995, convierte hoy a la América Latina y el Caribe en la primera zona totalmente desnuclearizada del planeta.

### Razones para el compromiso

Por una cuestión de principios Cuba se opuso durante muchos años a adherirse a un TNP viciado en su origen: refrenda la existencia del club nuclear, consagra el monopolio del arma nuclear a las cinco potencias, y considera solo la no proliferación horizontal (para los que no la poseen) y no la vertical que es un camino más expedito hacia el desarme total.

### OPANAL

El Organismo para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe (OPANAL) es un organismo intergubernamental creado por el Tratado de Tlatelolco, para asegurar el cumplimiento de las obligaciones del Tratado. En sus 35 años de fundado ha velado por el buen funcionamiento de la primera Zona Libre de Armas Nucleares (ZLAN) del mundo establecida en una zona densamente poblada.

OPANAL se encuentra hoy a la vanguardia del movimiento del desarme y ha desempeñado un papel importante en el establecimiento de otras ZLANs en el mundo. A los países de América Latina y el Caribe se agregan, además, los Estados del Pacífico Sur mediante el Tratado de Rarotonga de 1985, los del Sudeste Asiático mediante el Tratado de Bangkok de 1995 y todos los Estados del África mediante el Tratado de Pelindaba de 1996. Es decir, hasta la actualidad son 110 países del mundo los que han adoptado la decisión política y ética de nunca poseer una arma nuclear, declarándose Zonas Libres de Armas Nucleares.

Tomado de la página web del OPANAL: <http://www.opanal.org/>

En cuanto a Tlatelolco, Cuba estuvo de acuerdo con la creación de una zona libre de armas nucleares en América latina, pero sí cuestionó la falta de seguridad y de garantías por parte de Estados Unidos, que no aseguraba la desnuclearización de sus bases navales en Puerto Rico, el Canal de Panamá o el retiro de sus fuerzas de otras bases en la región como la de Guantánamo, en territorio cubano.

Cuba apoya los nobles propósitos del Tratado, pues considera que el término proscripción es más amplio que el de no proliferación y la aceptación de un régimen universal de proscripción eliminaría el carácter discriminatorio que establece el TNP. La no proliferación no debe ser un fin en sí misma, sino un paso hacia el desarme nuclear general y completo.

La decisión de la Isla debe verse en el contexto de la nueva situación internacional y de los acontecimientos surgidos en el mundo después del 11 de septiembre, con la inclusión de nuestro país en la lista de países terroristas del presidente Bush y las desvergonzadas acusaciones de un alto funcionario del Departamento de Estado norteamericano de que producimos armas biológicas.

Por otra parte los desafíos actuales que enfrenta América Latina en lo político, social y cultural, hacen de la unidad e integración de todos los países de la región el único camino para preservar su independencia y su soberanía. El aporte de Cuba también es importante en esta batalla por la integración de la región y la paz mundial.

Para dar cumplimiento a los nuevos compromisos asumidos, nuestro país se ha estado preparando en el orden técnico y legislativo. En 1996 se emitió el Decreto No. 208 "Sobre el Sistema Nacional de Contabilidad y Control de los Materiales Nucleares."

Además, Cuba cuenta con la infraestructura de protección radiológica, un Órgano Regulador y una cultura de seguridad que le permiten utilizar la energía nuclear con fines pacíficos y asumir todos sus compromisos.

### Estados Miembros del Tratado de Tlatelolco

Todos los 33 Estados de la Región de América Latina y el Caribe han firmado, ratificado y hecho la dispensa del artículo 28. Los Estados Miembros del Tratado de Tlatelolco son: Antigua y Barbuda, Argentina, Bahamas, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Dominica, Ecuador, El Salvador, Granada, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, San Kitts y Nevis, San Vicente y las Granadinas, Santa Lucía, Suriname, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.

Tomado de la página web del OPANAL: <http://www.opanal.org/>

En materia de salvaguardias el país tiene firmados dos acuerdos, uno para la central nuclear que se construiría en Juraguá y otro para un reactor de potencia cero que estaría ubicado en el Centro de Investigaciones Nucleares, y nunca se instaló.

Aunque los proyectos que dieron lugar a esos acuerdos no se completaron, y el país no recibió ningún material nuclear, Cuba ha mostrado un serio cumplimiento de lo establecido en estos acuerdos durante las 10 inspecciones del OIEA recibidas en los dos últimos lustros. Con la adhesión al TNP Cuba debe negociar con el OIEA, en un plazo de 18 meses, un acuerdo de salvaguardias amplias o totales, el cual abarca a todas las actividades relacionadas con el uso de la energía nuclear en el país, y no solo en las dos instalaciones anteriores.

La decisión de adherirse al TNP y ratificar Tlatelolco reafirma que el programa nuclear cubano es absolutamente pacífico y está sustentado en bases transparentes para el mundo entero.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Una ciencia de la paz para la era atómica, El Correo de la UNESCO, julio-agosto (1968)48.
- [2] Texto del TNP [en línea]<[http:// www.opanal.org/NPT/TNPtexto.htm](http://www.opanal.org/NPT/TNPtexto.htm) [consulta: 30 dic.2002]
- [3] Texto del Tratado de Tlatelolco [en línea]<[http:// www.opanal.org/opanal/Tlatelolco/Tlatelolco-e.htm](http://www.opanal.org/opanal/Tlatelolco/Tlatelolco-e.htm) [consulta: 30 dic. 2002]

# RESULTADOS DESTACADOS DE LA AGENCIA DE ENERGÍA NUCLEAR Y TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS EN EL 2002

## **1. Sistema de referencia CENTIS para la medición de la actividad de radionúclidos emisores gamma**

**Centro:** CENTIS

**Autores:** Pilar Oropesa Verdecia, Aerulio T. Hernández Rivero, Stefan Gutiérrez Lores, Rolando A. Serra Águila, Ernesto Martínez Herrera

**Resumen:**

Se logra por primera vez en el país disponer de un sistema de referencia secundario para las mediciones de actividad de emisores gamma, en particular aquellos que se utilizan en los servicios de Medicina Nuclear. Es un trabajo que contribuye al aseguramiento metrológico de las mediciones de actividad tanto en la producción como en las aplicaciones médicas de los preparados radisotópicos.

## **2. Empleo de las radiaciones gamma en el desarrollo de formulaciones de matrices poliméricas en base a hidrogeles de acrilamida-hema, acrilamida-acidometacrílico y un cemento bifuncional de hidroxiapatita-yeso-polímeros para uso biomédico**

**Centro:** CEADEN

**Autores:** Manuel Rapado Paneque, Dianelys Saínez Vidal, Enrique Prieto Miranda, Sonia Altánes Valentín, Dania Rodríguez Nápoles, Mercedes Guerra Torres

**Resumen:**

El trabajo introduce por primera vez en nuestro país el empleo de las radiaciones ionizantes en la síntesis de matrices poliméricas para uso biomédico. Esta línea reviste una gran importancia en la actualidad dada la aplicación que tienen tales materiales, por ejemplo, como soportes de fármacos (citostáticos, antibióticos y antivirales), como implantes óseos o relleno de cavidades quísticas.

## **3. Estimación de las externalidades ambientales de la generación eléctrica**

**Centro:** CUBAENERGÍA

**Autores:** Leonor Turtós, Elieza Meneses, Henry Ricardo, Alfredo Roque

**Resumen:**

El trabajo presenta la adaptación y aplicación de metodologías para la estimación de las externalidades relacionadas con la salud humana de las principales centrales termoeléctricas del país, estudio que se realiza por primera vez. Se emplean y adaptan a las condiciones del país metodologías y modelos internacionales reconocidos, se completaron bases de datos, se elaboraron programas para el procesamiento de datos, se procesaron variables meteorológicas y datos de distribución de receptores. Se arribó a un conocimiento científico básico que puede ser usado para futuros trabajos de investigación, desarrollo y planificación.

## **4. Desarrollo y caracterización de nuevos tipos de detectores semiconductores para la detección de rayos X a temperatura ambiente**

**Centro:** CEADEN

**Autores:** Ana Ester Cabal, Angelina Díaz García, Antonio Leyva Fabelo, Magaly Estrada del Cueto, Pawel Grybos, Luciano Ramello

# RESULTADOS DESTACADOS DE LA AGENCIA DE ENERGÍA NUCLEAR Y TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS EN EL 2002

**Resumen:**

El trabajo presentado agrupa un conjunto de resultados que abarcan 6 años de investigación, a través de 5 proyectos de investigación para el desarrollo de detectores de radiación y sus aplicaciones.

---

**5. Estudio del acoplamiento de canales en reacciones a energías cercanas a la barrera Coulombiana**

---

**Centro:** CEADEN

**Autores:** Iván Padrón Díaz, Paulo Roberto Silveira Gómez, Simone Barbosa de Moraes, José Joao Santos Alves

**Resumen:**

Este trabajo muestra resultados teóricos novedosos, utilizando el modelo óptico con la modificación del canal de transferencia de un neutrón para predecir datos de secciones de dispersión elástica y secciones de ruptura experimentales cerca de la barrera de Coulomb para núcleos débilmente enlazados. Vincula estos modelos a datos experimentales obtenidos de las reacciones de fusión del  ${}^6\text{Li}$  y  ${}^9\text{Be}$  con núcleos intermedios generados por los autores.

---

**6. Mejoramiento de la cuantificación relativa del flujo sanguíneo cerebral con la tecnología médico-nuclear disponible en Cuba**

---

**Centro:** ISCTN, CIREN

**Autores:** Oscar Díaz Rizo, Carlos Sánchez Catasús

**Resumen:**

El trabajo fue diseñado para mejorar los estudios sanguíneos cerebrales empleando la tecnología de cámaras gamma disponibles en el país, lo que se logra por dos vías: mejorando la resolución espacial tomográfica, y generalizando el método que utiliza el cerebelo como región de referencia, considerada esta la mejor para el proceso de normalización de las imágenes SPECT cerebral. Este trabajo arrojó como resultado un método aplicable en 8 servicios de Medicina Nuclear del país mejorando la resolución espacial tomográfica en un 18% sin modificaciones del hardware.

---

**7. Sistema integrado por automatización de la adquisición y procesamiento de los datos en equipos lectores de dosímetros termoluminiscentes y sistema de gestión de datos en dosimetría personal (DOSIS).**

---

**Centro:** CPHR, ISCTN, UCO

**Autores:** Daniel Molina Pérez, Doris del Carmen Rivero Ramírez, César García Trápaga, Efrén Díaz Bernal, Francisco J. Quiles Latorre, José Manzano de Armas, Eduardo Capote Ferrera y colaboradores

**Resumen:**

El trabajo incluye la automatización del proceso de adquisición de datos de los equipos lectores de TLD y el software para el almacenamiento y manipulación de los datos del servicio de dosimetría del CPHR. El sistema permite la gestión de bases de datos en los servicios de dosimetría externa del CPHR, a través de una aplicación compartida en red y de una interfase de fácil acceso, mejorando el flujo de información interno del servicio y la calidad del mismo.

# RESULTADOS DESTACADOS DE LA AGENCIA DE ENERGÍA NUCLEAR Y TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS EN EL 2002

## 8. Estructura y dinámica de sistemas moleculares en fase gaseosa y condensada

---

**Centro:** ISCTN, Universidad de Pinar del Río

**Autores:** Jesús Rubayo Soneira, Germán Alfredo Rojas Lorenzo, Juan C. Castro Palacios

**Resumen:**

El trabajo consiste en el estudio de la estructura y dinámica de sistemas moleculares en fase gaseosa y condensada: estados ligados de agregados triatómicos enlazados débilmente, específicamente en los trímeros de He, Ne y Ar; sistemas gaseosos  $\text{NeBr}_2$  y en fase condensada la molécula de NO en matrices sólidas de Ar y Ne.

## 9. Determinación de la estructura probable de taninos vegetales y su interacción con moléculas de interés biológico, con ayuda de la química computacional

---

**Centro:** ISCTN, Universidad de La Habana

**Autores:** Edelsys Codorniu Hernández, Francisco Martínez Luzardo, Jorge L. Santana, Luis Alberto Montero Cabrera, Ariel Mesa Ibirico, Tobias Borrmann, Wolf-Dieter Stohrer

**Resumen**

El trabajo aborda una investigación profunda sobre la estructura de monómeros y dímeros de los taninos de las especies forestales *Pinus Caribaea Morelet* y *Acacia mollissima* (mimosa) mediante la modelación computacional, partiendo de la experiencia experimental y el empleo de métodos químico-cuánticos de cálculo. Además presenta resultados novedosos para el conocimiento de la química y la reactividad de las proantocianidinas.

## 10. Estudio y aplicación de soluciones quelantes para la limpieza química de acero inoxidable

---

**Centro:** CEADEN

**Autores:** Victoria Herrera, Pedro Mayás, Felix Sandoya, Iván Pupo, Débora Hernández

**Resumen**

El trabajo consiste en el desarrollo de una tecnología para el proceso de limpieza y eliminación de Rouge en la etapa de mantenimiento de instalaciones industriales, que se caracteriza por el empleo de mezclas acomplexantes-reductoras. Además se diseñó el Sistema de Aseguramiento de la Calidad para su aplicación en plantas de tratamiento de limpieza tanto preoperacional como para las operaciones de eliminación de Rouge en sistemas en funcionamiento. La tecnología ha sido aplicada en instituciones del Polo del Oeste.

## 11. Aplicaciones del $^{99m}\text{Tc}$ como trazador en hidrología, sedimentología e ingeniería sanitaria

---

**Centro:** ISCTN, ICINAZ

**Autores:** Jorge Borroto, Judith Domínguez, Esperanza Pérez, Geysler Fernández, Anel Hernández, José Griffith, Héctor González, Milagros Derivet, Pedro Flores

**Resumen:**

El trabajo resume las aplicaciones del tecnecio  $^{99m}\text{Tc}$  como trazador en la hidrología de aguas superficiales, sedimentología y estudios hidrodinámicos en reactores de digestión anaerobia. Incluye la

# RESULTADOS DESTACADOS DE LA AGENCIA DE ENERGÍA NUCLEAR Y TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS EN EL 2002

evaluación de la influencia de diferentes factores en la reducción y sorción del tecnecio a los sedimentos del lecho en aguas superficiales. Se desarrolló una metodología para la reducción del Te(VII) con SnCl<sub>2</sub> y marcaje de sedimentos. Y se estudió la influencia de las condiciones de los procesos de digestión anaerobia de residuales azucareros sobre el tecnecio en estudios hidrodinámicos de reactores anaerobios.

## **12. Automatización de los sistemas de evaluación del desempeño, estimulación por resultados y pago por participación en proyectos. Una nueva herramienta al servicio de las entidades científicas**

---

**Centro:** CPHR

**Autores:** Maryzury Valdés, Omar García

### **Resumen**

El trabajo consiste en el desarrollo y aplicación de un software para la automatización del proceso de gestión de recursos humanos relacionado con el sistema de evaluación de desempeño, sistema de estimulación por resultados y sistema de pago por participación en proyectos. El sistema desarrollado constituye una herramienta informática integrada que ha permitido dotar a varias instituciones de la AEN de un instrumento de dirección que facilita el proceso de implementación de uno de los principales subsistemas del sistema integral de la gestión de los recursos humanos.

## **13. Soporte técnico y preparativos para la respuesta a emergencias radiológicas**

---

**Centro:** CPHR, CNSN

**Autores:** Juan Cárdenas Herrera, Yamil López Forteza y colaboradores

### **Resumen**

El trabajo consiste en el diseño y elaboración de procedimientos técnicos y administrativos para enfrentar una emergencia radiológica, reflejando la preparación alcanzada para la respuesta a dichas emergencias a través de la integración de todos los factores involucrados.

## **14. Programa nacional de vigilancia radiológica de alimentos y agua**

---

**Centro:** CPHR

**Autores:** Isis M. Fernández, José A. Carrera, María Victoria Luna, Alberto Castillo Pino

### **Resumen:**

En este trabajo se presenta el Programa de Vigilancia Radiológica de Alimentos y Aguas basado en el estudio de la experiencia nacional e internacional. Cumple con las exigencias de la problemática de vigilancia radiológica de alimentos y bebidas a nivel mundial actual e incluye los servicios de control de productos nacionales destinados a la exportación.

## **15. Ioduro de sodio: radiofármaco para tratamiento y diagnóstico de trastornos tiroideos**

---

**Centro:** CENTIS

**Autores:** Jorge Cruz Arencibia, René Leyva Montaña y Regla Gamboa Marrero

# RESULTADOS DESTACADOS DE LA AGENCIA DE ENERGÍA NUCLEAR Y TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS EN EL 2002

## **Resumen**

El yoduro de Sodio marcado con  $^{131}\text{I}$  es el radiofármaco más empleado en la Medicina Nuclear en Cuba. El objetivo del trabajo fue desarrollar una tecnología, con vista a eliminar su importación.

Desde el 1997 la demanda nacional de este producto ha sido cubierta por la producción realizada en el CENTIS, lo que ha significado un ahorro de 493 683,6 USD en los últimos 5 años.

## **16. Servicios científico-técnicos al medio ambiente**

---

**Centro:** ISCTN

**Autores:** Luis Sorinas González, Jorge L. Santana, Lázaro Lima, Yuri Aguilera, Daniel de la Rosa, Luis M. Vargas, Mercedes García, Javier Torres, Aurora Pérez, Francisco Martínez Luzardo, Jesús Rivero, Nobel Rovirosa, Israel Saborit, Damaris García, Kenia Melchor, Aimé Rodríguez

### **Resumen:**

Se presentan los resultados alcanzados en la prestación de servicios científicos-técnicos en asesoría tecnológica a la industria para tratamiento de residuales, evaluaciones de impacto ambiental, organización de planes de contingencia, elaboración de licencias ambientales, minimización de residuos y servicios analíticos durante varios años. El principal logro alcanzado lo constituye la consolidación de un grupo de actividades que han permitido la inserción en el campo de la protección y preservación del medio ambiente. Es un servicio acreditado.

## **17. Montaje de la determinación de tritio en muestras de agua por el método de enriquecimiento electrolítico**

---

**Centro:** CPHR, CENHICA

**Autores:** Miguel Prendes, Isis M. Fernández, Gloria Rodríguez Castro, Jorge Carrazana, Niury Martínez, José F. Santiago, Anabel Palomino, Alida Santos

### **Resumen:**

El servicio permite determinar los contenidos de tritio en las aguas. Es importante desde el punto de vista radiológico y permite realizar la caracterización de acuíferos. Este servicio tiene implantado un sistema auditable de aseguramiento de la calidad.

## **18. Aspectos algebraicos de los sistemas dinámicos**

---

**Centro :** ICIMAF

**Autores :** Lázaro Raúl Felipe Parada

### **Resumen**

El trabajo es de gran actualidad e importancia. Constituye un aporte al conocimiento en el campo de las matemáticas, específicamente en el campo de los sistemas dinámicos en aspectos algebraicos que incluyen el estudio de las propiedades algebraicas de los flujos gradientes integrables, así como la jerarquía KP discreta, acerca de la convergencia débil en sistemas dinámicos discretos y de la construcción de anillos conmutativos de operadores diferenciales.

Este trabajo obtuvo el **Premio de la Academia de Ciencias de Cuba.**

# RESULTADOS DESTACADOS DE LA AGENCIA DE ENERGÍA NUCLEAR Y TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS EN EL 2002

## 19. Desarrollo y aplicación de técnicas nucleares en estudios medioambientales

---

**Centro :** ISCTN

**Autores.** Eduardo Herrera Peraza, Oscar Díaz Rizo, Jorge Borroto Portela, Judith Domínguez Catasús.

**Coautores:** Mara Victoria Manzo, Esperanza Pérez, Jesús Soto, Jesús Beltrán, Aida María Abreu Díaz, Neyvi López Pino, María Josefa Simón Delgado, Jorge Griffith Martínez

**Resumen:**

El trabajo es de gran actualidad e importancia. Constituye un aporte al conocimiento y a la extensión de las aplicaciones de las ciencias nucleares a los estudios medioambientales. Se documentan los trabajos realizados en estudios ambientales con la aplicación de las técnicas de radiotrazadores, espectrometría gamma de alta resolución y análisis por activación empleando la técnica del Ko. Estas técnicas han sido implementadas en importantes estudios ambientales de alto impacto económico-social. Se presentan aportes novedosos en el campo experimental y teórico.

## 20. Métodos ultrasónicos para el diagnóstico médico y los ensayos no destructivos

---

**Centro :** ICIMAF

**Autores:** Eduardo Moreno Hernández

**Resumen:**

El trabajo es de gran actualidad e importancia. Constituye un aporte al conocimiento de la física experimental del ultrasonido, específicamente en el campo de los ensayos no destructivos en medios compuestos y viscoelásticos, la instrumentación médica en imagenología, el efecto Doppler y en el estudio de las pérdidas en transductores ultrasónicos.

Este trabajo obtuvo el **Premio de la Academia de Ciencias de Cuba.**

## 21. Teoría unificada para la desintegración espontánea en los procesos nucleares

---

**Centro :** ISCTN, CBPF

**Autores:** Fernando Guzmán Martínez y Oscar Rodríguez Hoyos

**Resumen:**

El trabajo es de gran actualidad e importancia. Constituye un aporte al conocimiento de la generación de una nueva base de datos nucleares de decaimiento para todos los núcleos conocidos y un aporte importante a la física nuclear teórica a nivel internacional. Asimismo, se desarrollan nuevos códigos de cálculo y el análisis de datos experimentales sobre fotosensibilidad.

## 22. Estudio de la respuesta al daño radiacional gamma de materiales cerámicos superconductores

---

**Centro :** CEADEN

**Autores:** Carlos M. Cruz Inclán, Antonio Leyva Fabelo, Onexis Alfonso Vázquez, Juan C. Suárez Sandín

**Resumen:**

El trabajo es de gran actualidad e importancia. Constituye un aporte al conocimiento del estudio del comportamiento de las cerámicas superconductoras ante la radiación gamma.

# RESULTADOS DESTACADOS DE LA AGENCIA DE ENERGÍA NUCLEAR Y TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS EN EL 2002

## 23. Equipo de fisioterapia láser Lasermed 401 m y su introducción en el Sistema Nacional de Salud

---

**Centro :** CEADEN

**Autores:** Omar Morales Valdés, M. Cunill Rodríguez, A. Combarro Romero, M. Aparicio Carriera, A. Porrúa García, C. Corcho Corcho, J. Arteché Díaz, R. Neyra Martín, L. Miranda Díaz, B. Robaina Martínez, S. Vega Rodríguez, A. Rosales Suárez, J.L. Díaz Morera Pedroso, A. García Cruz

**Resumen:**

El resultado constituye el desarrollo del equipo de terapia láser Lasermed 401, la fabricación de 163 unidades, la exportación de 42 equipos y la introducción de 121 equipos en el Sistema Nacional de Salud.

## 24. Generalización de equipos térmicos solares

---

**Centro :** CUBAENERGÍA, CUBASOLAR , ECOSOL SOLAR

**Autores:** Luis Bériz Pérez, Manuel Álvarez, Andrés Nuñez Navarro, Julio Inguanzo Valdéz, Graciela Rodríguez Abreu, Sergio Corp Linares, Justo Gómez , Rolando Llanes

**Resumen:**

El resultado constituye la innovación realizada al diseño de nuevos prototipos de equipos térmicos solares (secador solar multipropósito), así como la utilización y selección de nuevos materiales. Se han instalado 31 de estos prototipos del modelo COMPACSOL en círculos infantiles, casas de visitas y escuelas. El impacto económico del resultado está dado por el ahorro por concepto de ahorro de combustible para el secado y el calentamiento.

### Leyenda

CENTIS	Centro de Isótopos
CEADEN	Centro de Aplicaciones tecnológicas y Desarrollo Nuclear
ISCTN	Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares
CIREN	Centro Internacional de Restauración Neurológica
CPHR	Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones
UCO	Universidad de Córdoba
ICINAZ	Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras
CNSN	Centro Nacional de Seguridad Nuclear
CENHICA	Centro Nacional de Hidrología y Ciencias del Agua
ICIMAF	Instituto de Cibernética Matemática y Física
CBPF	Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

## REVISTAS NUCLEARES DE IMPACTO

- ANNUAL REVIEW OF NUCLEAR SCIENCE (5.471)\*
- JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE (4.015)
- RADIOLOGY (3.800)
- NUCLEAR PHYSICS B (3.722)
- EUROPEAN JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE (2.690)
- ATOMIC DATA AND NUCLEAR DATA TABLES (2.545)
- NUCLEAR FUSION (2.475)
- INTERNATIONAL JOURNAL OF RADIATION ONCOLOGY BIOLOGY PHYSICS (2.321)
- RADIATION RESEARCH (2.314)
- PHYSICAL REVIEW C-NUCLEAR PHYSICS (1.842)
- NUCLEAR PHYSICS A (1.821)
- ANTIBODY IMMUNOCONJUGATES AND RADIOPHARMACEUTICALS (1.800)
- RADIOTHERAPY AND ONCOLOGY (1.799)
- AMERICAN JOURNAL OF NEURORADIOLOGY (1.733)
- ADVANCES IN RADIATION BIOLOGY (1.714)
- SEMINARS IN NUCLEAR MEDICINE (1.603)
- PROGRESS IN PARTICLE AND NUCLEAR PHYSICS (1.354)
- ZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK A-HADRONS AND NUCLEI (1.326)
- RADIOLOGIC CLINICS OF NORTH AMERICA (1.316)
- JOURNAL OF NUCLEAR MATERIALS (1.264)
- NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS  
SP (1.188)
- IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE (1.183)
- JOURNAL OF PHYSICS G-NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS (1.142)
- NUCLEAR MEDICINE AND BIOLOGY (1.132)
- NUCLEAR MEDICINE COMMUNICATIONS (1.078)
- RADIOGRAPHICS (1.078)
- CARDIOVASCULAR AND INTERVENTIONAL RADIOLOGY (1.073)
- NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION B-BEAM  
INTERACTION (1.073)

( )\* **Factor de Impacto**

## INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

### PARA PUBLICAR EN CIENCIAS NUCLEARES

Los artículos deben tener una extensión máxima de 10 cuartillas incluidas tablas (un máximo de 5) e ilustraciones (un máximo de 5). Se entregarán en disquete, en Word y en Arial 11. El total de líneas por páginas es 30 como máximo.

Los artículos tendrán el siguiente orden: Resumen (en español e inglés), Introducción, Materiales y métodos, Resultados, Discusión, Conclusiones, Recomendaciones (opcional), Agradecimientos (opcional), Referencias Bibliográficas y Bibliografía Consultada. Estas secciones deben estar bien definidas, aunque no necesariamente con subtítulos.

Los artículos están sujetos a arbitraje y a la aprobación del Consejo Editorial.

**Autor (es):** Especificar nombres y dos apellidos así como la institución de procedencia. Los autores deben enumerarse por orden de importancia en relación con los experimentos e investigaciones realizadas (el primero como autor principal).

**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 150 palabras, ni contener siglas, abreviaturas ni referencias bibliográficas. Debe aparecer en pretérito, en español e inglés.

**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 conclusión o conclusiones principales sugeridas por los resultados.

**Materiales y métodos:** La mayor parte de esta sección debe escribirse en pasado y dar toda clase de detalles. La finalidad principal es describir y que los resultados obtenidos 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:** Debe hacerse 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 debe redactarse en pretérito.

**Discusión:** Deben presentarse 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. Deben exponerse las consecuencias teóricas del trabajo y sus posibles aplicaciones prácticas. Resume las pruebas que respaldan cada conclusión. Los tiempos verbales oscilarán entre el presente y el pasado.

**Conclusiones:** Deben formularse lo más clara posible. Pueden estar incluidas en la Discusión.

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, y otros. Pueden utilizarse frases como «doy las gracias a ...»

**Referencias bibliográficas:** Deben enumerarse 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. Deben cotejarse todas las partes de cada referencia contra la publicación original antes de presentar el artículo. Las referencias en el texto deben hacerse con números entre corchetes en el lugar en que se apliquen y siguiendo un orden consecutivo.

## INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

**Bibliografía consultada:** Debe enumerarse con números arábigos entre corchetes al final del trabajo. Los títulos de las publicaciones periódicas deben adecuarse al sistema INIS (véase EAEA-INIS-11). No deben incluirse las referencias a trabajos no publicados.

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

**Tablas:** Deben ordenarse 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 deben aclararse 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:** Deben escribirse con precisión, en especial los subíndices y supraíndices. Evite el uso de exponentes complicados y la repetición de expresiones elaboradas.

**Unidades:** Como norma general deberá emplearse 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 la difusión, con rigor científico y de forma asequible al público en general, de 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, entre otros. Los trabajos no deben exceder las 10 cuartillas, incluidas ilustraciones y tablas. En las tablas e ilustraciones se seguirán las mismas indicaciones que rigen para los artículos de la sección Ciencias Nucleares. Las secciones son las siguientes: Panorama, Ámbito Regulatorio, Salvaguardias y No Proliferación, y En la Espiral.

Los artículos están sujetos a la aprobación del Consejo Editorial.

### INFORMACIÓN GENERAL

Los trabajos que no se acepten se devolverán al autor.

Los autores recibirán de forma gratuita un ejemplar de la revista donde aparece publicado su artículo.

### VÍAS DE PRESENTACIÓN

**En la redacción de la revista:**

Calle 20, No. 4111-4113 e/ 18A y 47, Playa, Ciudad de La Habana

por fax: (537) 204 1188

**correo electrónico:** nucleus@cubaenergia.cu