

MANEJO RESPONSABLE DE LOS DESECHOS RADIACTIVOS EN LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

*Patricia Mora **, *Alfonso Varela*

Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares
Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica, Sabanilla 2070

Aceptado, 2 de febrero de 2006

Abstract

The Radiation Safety Program (RSP) of the University of Costa Rica established in 1990, handles the radioactive waste generated at the University. A centralized storage waste room is used by the Atomic, Nuclear and Molecular Research Center, Health Research Institute, Molecular and Cellular Biology Research Center and the Environmental Contamination Research Center. The RSP has pre-storage procedures, internal controls, protocols for storage, withdrawal of sources and discharges to the environment, according to national and international legislation. The main radionuclides in liquid and solid wastes are P32, I125, S35 y C14; which after a storage period will be disposed of as exempted materials. The waste room also permanently stores sources with the following radionuclides Cs137, U238, Th232, Sr90, Ra226, Cd109, Cf252 and Am241. It has 96 permanent sources and 52 that will be disposed of. The RSP allows the University to have a centralized facility for the safe management of all radioactive waste generated locally.

Key words: radioactive waste, discharges, radioactive material.

Palabras clave: desechos radiactivos, descargas, materiales radiactivos.

1. Introducción

Los materiales radiactivos [1] (emisores alfa, beta o gamma) ya sean naturales o bien artificiales al final de su vida útil pueden llegar a convertirse en lo que se conoce como desechos radiactivos. El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) define en su publicación Normas Básicas de Seguridad (No.115) [2] a un desecho radioactivo de la siguiente manera: "material, independiente de su forma física, originado por la realización de prácticas o intervenciones y para los cuales no se prevé ningún uso."

*email-pmora@cariari.ucr.ac.cr

Todo material radiactivo o fuente generadora de radiaciones ionizantes debe estar bajo el control del órgano regulador en materia de seguridad radiológica de cada país ó bien seguir los lineamientos establecidos por los organismos internacionales. A nivel mundial se trabaja con 2 conceptos muy importantes los cuales son: la exclusión y la dispensa de los materiales radiactivos. [3]

La exclusión se refiere a “toda exposición cuya magnitud o probabilidad no sea, por esencia, susceptible de control aplicando los requisitos prescritos en las Normas Básicas de Seguridad”. [2] Son fuentes de radiación que no entran bajo el control del régimen regulatorio del país [4]. Algunos materiales radiactivos que están excluidos del control regulatorio son por ejemplo: la exposición debida al Potasio-40 presente en el organismo, la radiación cósmica en la superficie terrestre y la concentración, no modificada, de los radionucleídos presentes en la mayor parte de las materias primas. Otro ejemplo es la descarga de gases a través de los sistemas de ventilación de las edificaciones, provenientes del gas Radón y sus hijas, que emanan del suelo y de los materiales de construcción. [5]

Por otra parte, las fuentes radiactivas pueden ser liberadas del control regulatorio existente siempre que se pueda demostrar que representan un “riesgo trivial” para los individuos y la población: este es el concepto de dispensa. El criterio radiológico generalmente aceptado para la dispensa es el mismo que el aplicado para la exención. Sin embargo, si la dispensa se aplica a las fuentes que ya están bajo el control regulatorio, puede ser importante un control sobre las descargas reguladas para garantizar que los niveles de descarga cumplan con los criterios de dispensa.

La idea del riesgo que se requiere de un control regulatorio está asociada al concepto de “riesgo trivial”. Una comparación con la respuesta de la sociedad a los riesgos de otras actividades lleva a la conclusión de que los riesgos anuales de muerte del orden 10^{-6} a 10^{-7} son generalmente no preocupantes para los individuos. Convirtiendo este valor a dosis anual y usando el factor de riesgo actual para cáncer letal (10^{-2} Sv^{-1}), se obtiene un valor de alrededor de $100 \mu\text{Sv}$. Si se toma en consideración la posibilidad de que un individuo pueda estar expuesto a más de una fuente exceptuada, se sugiere entonces, un criterio de dosis anual de exención de alrededor $10 \mu\text{Sv}$ para cada práctica exceptuada, aplicada a un grupo crítico apropiado. Este valor es generalmente aplicado a pesar de que para el cáncer letal es tomado actualmente un factor de riesgo mayor ($3 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$), la razón se basa en que es improbable que un individuo sea miembro del grupo crítico para más de una o dos prácticas exentas. [6]

Los organismos internacionales [2] han recomendado que una práctica o una fuente adscrita a una práctica podrá declararse exenta, sin ulterior estudio, siempre que se satisfagan los siguientes criterios en todas las situaciones posibles:

1. La dosis efectiva que se prevea sufrirá cualquier miembro del público a causa de la práctica o la fuente exenta sea del orden de $10 \mu\text{Sv}$ o menos en un año, ó
2. La dosis efectiva colectiva comprometida resultante de un año de realización de la práctica no sea superior a 1 Sv-hombre , aproximadamente, o bien una

evaluación de la optimización de la protección demuestre que la exención es la opción óptima.

Se encuentran tabulados en publicaciones internacionales los valores derivados de dispensa para alrededor de 56 radionucleídos [7]. Para los radionucleídos que no estén presentes en estas tablas, se deberá utilizar la siguiente fórmula para calcular sus niveles de dispensa correspondientes:

$$\left\{ \frac{1}{E_{\gamma} + 0.1E_{\beta}} \circ \frac{ALI_{inh}}{1000} \circ \frac{ALI_{ing}}{1000000} \right\} \quad (1)$$

donde

E_{γ} es la energía efectiva de la radiación gamma en MeV, E_{β} es la energía efectiva de la radiación beta en MeV, según los datos de la publicación 38 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica [8].

ALI_{inh} es el más restrictivo de los valores asignados al límite anual de incorporación por inhalación y ALI_{ing} es el valor más restrictivo del límite anual de incorporación por ingestión. Estos límites de incorporación aparecen en la publicación 61 del ICRP [9];

Si los materiales a ser dispensados contienen mezclas de radionucleídos, se debe emplear la siguiente expresión matemática de suma de fracciones: [6]

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{Li}} \leq 1 \quad (2)$$

donde

C_i es la tasa de liberación propuesta (Bq/a, o Bq/g) del radionucleído i en el material, C_{Li} es el valor de dispensa establecido para el radionucleído i , empleado como límite en la expresión,

n es la cantidad de radionucleídos en la mezcla.

(La suma de las fracciones debe ser menor o igual a la unidad, para que se considere que la mezcla cumple con los criterios de dispensa).

Para los niveles de dispensa que se utilizan en la UCR, se toman como base los valores publicados por el OIEA en su Documento Técnico No.1000 [7] el cual brinda niveles derivados de dispensa para materiales sólidos, liberaciones líquidas y emanaciones gaseosas de las instalaciones médicas, industriales y de investigación. La gran mayoría de los radionucleídos usados en hospitales y en instalaciones de investigación tienen períodos de semidesintegración relativamente cortos. Si este período es inferior a los 100 días los criterios internacionales indican que el material radiactivo se debe dejar decaer 10 semiperíodos físicos [10] y luego evacuarlos como material desclasificado

(fuera del control regulatorio). Las vías de evacuación autorizadas incluyen: descargas directas a la atmósfera, la cual no es usualmente una ruta importante para estos tipos de instalaciones, la incineración de los residuos combustibles, la disposición de los desechos sólidos en vertederos ordinarios (basureros municipales) y las descargas de los desechos líquidos o semisólidos al sistema de alcantarillado público.

Ahora bien, es importante destacar que la dispensa no es el único medio para liberar o descargar los materiales provenientes de las prácticas; existe además el proceso de autorización de las descargas al medio ambiente por parte de la autoridad reguladora.

Últimamente, la vía preferida de gestión de desechos radiactivos de mediana y alta actividad es la disposición en un repositorio final. El OIEA ha definido en este contexto la disposición como: "El emplazamiento de los desechos en una instalación específica aceptada (por ejemplo, cercana a la superficie o un repositorio geológico) sin la intención de recuperarlos". [6]

Previo a la disposición final de los desechos radiactivos, se deben cumplir los siguientes pasos:

1. Segregación: la separación del desecho radiactivo de otros materiales, puede hacerse basándose en el tipo de radionucleído, composición química, desechos de diferentes semiperíodos, materiales biodegradables, etc.
2. Reducción de volumen: para el manejo es beneficioso reducir los volúmenes grandes (como por ejemplo cajas de guantes).
3. Descontaminación: antes del almacenamiento es importante cerciorarse que los contenedores no estén contaminados externamente.
4. Tratamiento y acondicionamiento: convertir el desecho en una forma más apropiada para su gestión posterior, los procesos de tratamiento son: filtración, intercambio iónico, evaporación, precipitación química o compactación. El acondicionamiento convierte los desechos en una forma sólida de menor solubilidad y mejor estabilidad mecánica.
5. Almacenamiento: confinamiento espacial del desecho radiactivo hasta su ulterior disposición.

2. Materiales y Métodos

El Plan de Seguridad Radiológica de la UCR cuenta con una bodega centralizada para el almacenamiento y gestión del desecho que se genera de los diversos centros de investigación. Los principales centros de investigación que actualmente generan o

han generado en su oportunidad desechos radiactivos son: Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM), Instituto Nacional de Investigación en Salud (INISA), Centro de Investigaciones en Biología Celular y Molecular (CIBCM), Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) y Centro de Investigaciones en Contaminación Ambiental (CICA).

La bodega también tiene la finalidad de almacenar los materiales radiactivos que por sus períodos de semidesintegración no se pueden disponer al medio ambiente y deben ser estrictamente custodiados para evitar posibles riesgos a los trabajadores universitarios o público en general. Toda fuente radiactiva que no esta siendo utilizada o bien se desconoce su dueño dentro de la UCR, ha pasado a formar parte del inventario permanente de la bodega.

Para el adecuado funcionamiento de la bodega la Vicerrectoría de Investigación le ha asignado un presupuesto anual para la compra de insumos de trabajo, horas asistentes, equipo de detección de radiaciones, etc., los cuales permiten el adecuado funcionamiento de la misma. Se cuenta además con el apoyo de la Sección de Espectrometría Gamma del CICANUM, que permite la correcta identificación de los radionucleídos almacenados. [11,12]

Desde el punto de vista de legislación nacional vigente en esta área, se cumplen todas las disposiciones de la Autoridad Reguladora en materia de radiaciones ionizantes que recae en la Sección de Radiaciones del Ministerio de Salud, específicamente cumpliendo lo estipulado en el "Reglamento sobre Protección contra las Radiaciones Ionizantes del Ministerio de Salud" (decreto No.24037-S del 8 de marzo de 1995). [4] Además se siguen los lineamientos internacionales estipulados en la Colección de Seguridad No. 115 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) [2], así como las publicaciones de la Comisión Internacional en Protección Radiológica (ICRP) [13].

Internamente, el Plan de Seguridad Radiológica ha generado el "Manual de Protección Radiológica de la Universidad de Costa Rica" [14], donde se contemplan los procedimientos de pre-ingreso de los desechos a la bodega (tipo de envases o bolsas con su adecuado identificación), el manejo y controles internos dentro de la misma, los protocolos de almacenamiento y retiro de materiales radiactivos, así como, la eliminación del control regulatorio de los materiales que pueden desclasificarse como radiactivos y eliminarse seguramente al medio ambiente. También se contemplan los protocolos de descarga al ambiente acorde a las normativas nacionales e internacionales, para los cuales se debe contar con la autorización de la Autoridad Reguladora y conocer las posibles dosis de radiación que recibirían los miembros del público debido a esta práctica.

La bodega se divide en tres áreas restringidas, la primera una zona neutral para cambio de vestimenta y 2 recintos, uno donde se almacenan las fuentes radiactivas de

período físico mayor a los 100 días a las cuales se les debe realizar su adecuado “tratamiento, acondicionamiento y disposición final” y otra donde se reciben los desechos de los centros con radionucleídos con periodos inferiores a los 100 días donde son almacenados esperando llegar a los niveles de exención para ser eliminados al alcantarillado público o al sistema de basura municipal.

Para la adecuada clasificación de los materiales que entran a la bodega se han creado dos clasificaciones dependiendo si los desechos contaminados ingresan en forma sólida o líquida a la bodega. En la Figura 1 se encuentra la clasificación de los desechos líquidos y en la Figura 2 la clasificación para los desechos sólidos.



Figura 1: Clasificación de los desechos líquidos en la UCR.

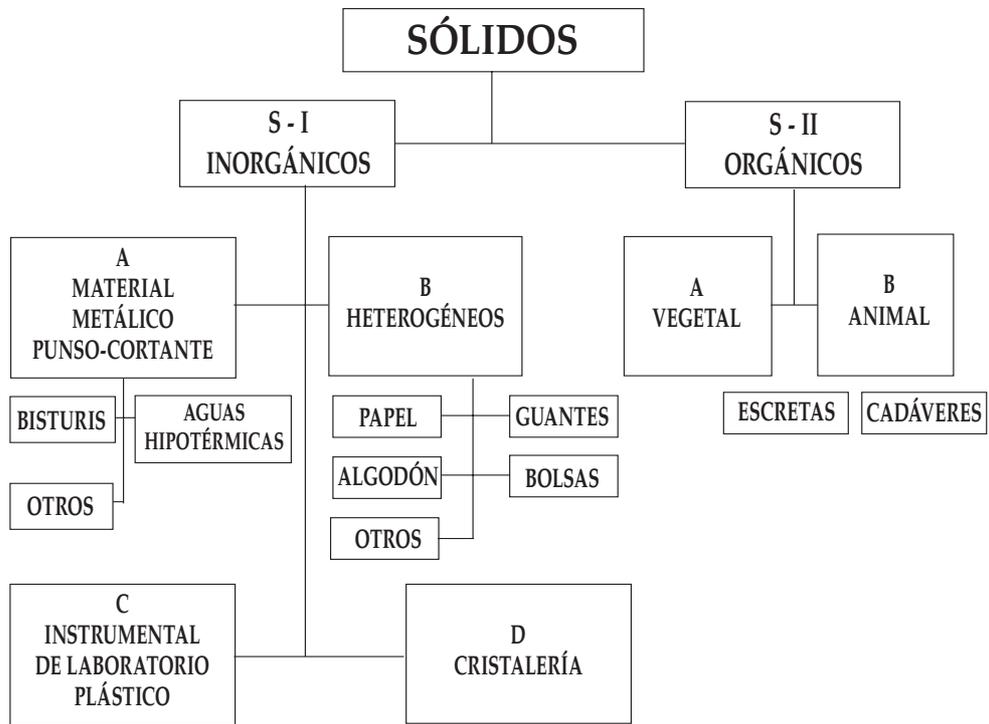


Figura 2: Clasificación de los desechos sólidos en la UCR.

Todo material que se encuentra en la bodega tiene su correspondiente boleta de identificación como se indica en la Figura 3.

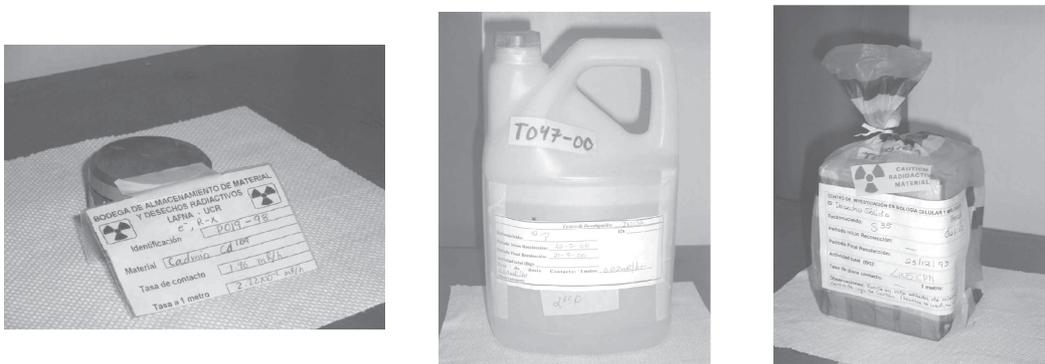


Figura 3: Boletas de identificación de diversos materiales sólidos y líquidos.

4. Resultados

Hasta el año 2000, la bodega albergaba un total de 73 fuentes selladas [2] como se muestra en la Tabla 1.

TABLA 1
FUENTES SELLADAS ALMACENADAS DURANTE EL PERÍODO 1998 AL 2000.

Año de ingreso	Número de fuentes
1998	28
1999	39
2000	6
Total	73

Estas fuentes selladas pertenecen a diversos grupos de radiotoxicidad [15] como se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2
CLASIFICACIÓN DE FUENTES SELLADAS SEGÚN SU RADIOTOXICIDAD

Radiotoxicidad	Radionucleídos
Muy alta	Am ²⁴¹ - Ra ²²⁶ - Cm ²⁴⁴ - Pu ²³⁹ - Cf ²⁵²
Alta	Mn ⁵⁴ - Na ²² - Sr ⁹⁰ - Co ⁶⁰ - Cs ¹³⁷ - Cl ³⁶ - Bi ²¹⁰
Moderada	Zn ⁶⁵ - Fe ⁵⁵ - Cd ¹⁰⁹ - Eu ¹⁵² - Co ⁵⁷ - Sn ¹¹³ - C ¹⁴ - Tc ⁹⁹ - Y ⁹⁰ - Pm ¹⁴⁷
Baja	Th ²³² - U ²³⁸ - Pechblenda (U ₃ O ₈ B) - UO ₂

La cantidad de los desechos entregados por los diversos centros de investigación tanto en forma sólida como líquida se encuentran resumidos en la Tabla 3.

TABLA 3
DESECHOS RECIBIDOS EN LA BODEGA DURANTE EL PERÍODO 1998 AL 2000

Año	Desechos Sólidos	Desechos Líquidos
1998	5	9
1999	17	20
2000	34	26
Total de bultos	56	55
	Masa total: 70.5 kg	Volumen total: 0.14 m ³

Los desechos sólidos contienen los siguientes radionucleídos: H^3 , U_3O_8 , UO_2 , I^{125} , Ra^{226} , P^{33} , P^{32} , S^{35} y los desechos líquidos contienen los siguientes radionucleídos: I^{125} , P^{33} , P^{32} y S^{35} .

Para que los desechos puedan ser desclasificados y eliminados por el alcantarillado público o por el sistema de recolección de basura municipal, según las disposiciones internacionales [16,17], se deben almacenar 10 semiperíodos físicos. La Tabla 4 enumera los semiperíodos físicos (tiempo necesario para que la actividad presente decaiga a la mitad de su valor original) [10,15] de los radionucleídos que pueden ser gestionados por esta vía y sus correspondientes tiempos de permanencia en la bodega. Así mismo, se muestran los desechos contaminados con radionucleídos que no podrán disponerse por esta vía en la Tabla 4.

TABLA 4
PERIODOS FÍSICOS Y TIEMPOS DE PERMANENCIA EN LA BODEGA.

Radionucleído	Periodo físico	Periodo de almacenamiento
I^{125}	60.2 días	\cong 1.65 años
S^{35}	87.9 días	\cong 2.41 años
P^{32}	14.28 días	\cong 4.76 meses
P^{33}	24.4 días	\cong 8.13 meses
H^3	12.26 años	***
C^{14}	5730 años	***
Ra^{226}	1602 años	***

Finalmente se muestra en la Tabla 5 el inventario permanente hasta el 2000 de las fuentes radiactivas que se encuentran en la Bodega.

TABLA 5
EXISTENCIA PERMANENTE EN LA BODEGA.

Tipo de Material Radiactivo	Cantidad
Fuentes Selladas	73
Muestras Sólidas (fuentes no selladas sólidas)	28
Estándares Sólidos para Espectrometría Gamma	2
Estándares Líquidos para Espectrometría Gamma	11
Materiales de intercomparación sólidos (QAP-000/Vegetal, etc.)	16
Materiales de referencia (IAEA) para Espectrometría Gamma líquidas / sólidos	10
TOTAL	102

4. Conclusiones

A través del Plan de Seguridad Radiológica se está dando el cumplimiento al manejo de la gestión de los desechos radiactivos dentro del campus universitario, producto del quehacer científico dentro de la Universidad de Costa Rica, acordes con todas las normativas nacionales e internacionales.

Cada Centro de Investigación, Escuela o Facultad de la UCR tiene nombrado un responsable en seguridad radiológica que es el vínculo con el Plan de Seguridad Radiológica. Este responsable debe velar dentro de una de sus funciones por la correcta segregación, rotulación, almacenamiento y traslado a la bodega de los desechos generados por su unidad académica.

Con la puesta en marcha de la Bodega se ha logrado la centralización del almacenamiento de los desechos que eventualmente serán desclasificados y la segura vigilancia de los materiales que no pueden ser descargados al ambiente.

Así mismo existe un punto único en el campus universitario donde posibles descargas autorizadas por la Autoridad Reguladora se realicen bajo la estricta supervisión y responsabilidad de personal altamente capacitado en esta área; garantizando así que no se exponga a ningún riesgo radiológico al público en general por estas prácticas. [13]

La Universidad de Costa Rica es pionera en materia de seguridad radiológica debido a la unificación de las normas de seguridad radiológica en todos los centros de investigación sobre el manejo responsable de la gestión de los desechos radiactivos. El PSR actuará acorde con todas las normativas nacionales e internacionales para posibles futuras descargas autorizadas al medio ambiente. Es importante enfatizar que la UCR hasta este momento no ha realizando descargas al medio ambiente. Si la UCR se viera en la necesidad de realizar estas prácticas, ellas deberán ser autorizadas por el Ministerio de Salud.

Finalmente es importante mencionar que nuestro país como un todo deberá en los próximos años buscarle una solución integral a los desechos radiactivos con semiperiodos mayores a los 100 días producidos en la industria, investigación y área médica, pues muchas instituciones carecen de la infraestructura existente en la UCR y se debería contar nacionalmente con un repositorio especializado para la gestión del desecho radiactivo que debe permanecer almacenado por tiempos más largos y bajo la estricta vigilancia de la Autoridad Reguladora Nacional.

Addendum

El inventario actual de la bodega de desechos ha variado y se ha logrado incorporar las actividades de la bodega dentro del proceso de acreditación del CICANUM con la norma ISO/INTEC:17025:2005.

5. Agradecimientos

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación por la actividad No. 112-AO-716 del presupuesto asignado a la bodega para el adecuado manejo de los desechos radiactivos en la UCR.

6. Referencias

- [1] UNSCEAR, *Sources and effects of ionizing radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes*, (New York, 2000), Vol. 1.
- [2] Organismo Internacional de Energía Atómica, *Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes Informes de Seguridad No.115*, (IAEA, Viena, 1997).
- [3] International Atomic Energy Agency, *Exemption of radiation sources and practices from regulatory control IAEA-TECDOC-401*, (IAEA, Vienna, 1997).
- [4] Decreto No.24037-S Reglamento sobre Protección contra las radiaciones Ionizantes. *La Gaceta* No.48. año CXVII.
- [5] P. Mora, *La radiación en la vida cotidiana*, *Acta Méd. Costarr.* **1999**, 41 (2), 16.
- [6] International Atomic Energy Agency RLA/9/030 *Curso regional de capacitación sobre control de descargas y monitoreo ambiental de material radiactivo asociado a prácticas médicas e industriales*, (IAEA, Chile, 2000).
- [7] International Atomic Energy Agency, *Clearance of Materials Resulting from the use of Radionuclides in Medicine, Industry and Research IAEA-TECDOC-1000*, (IAEA, Vienna, 1998).
- [8] International Commission on Radiation Protection. *Radionuclide Transformation: Energy and Intensity of Emissions. Annals of the ICRP 11 – 13*, (Pergamon Press, Oxford and New York, 1983). Publication 38.
- [9] International Commission on Radiation Protection. *Annual Limits on Intake of Radionuclides by Workers Based on the 1990 recommendations. Annals of the ICRP 21 No.4* (Pergamon Press, Oxford and New York, 1991). Publication 61.
- [10] Evans, R. *The Atomic Nucleus*, Mc Graw-Hill: Nueva York, 1995.
- [11] Mora, P.; Loría, L. G. J. *Trace Microprobe Techniques* **1997**, 15 (3), 307.

- [12] P. Mora, P.; Salazar, A.. *Cienc. Technol.* **1995 19** (1/2), 79.
- [13] International Commission on Radiation Protection, *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP 21 No.1-3*, (Pergamon Press, Oxford and New York, 1991). Publication 60.
- [14] Mora, P. *Manual de Procedimientos en Protección Radiológica UCR*, Plan de Seguridad Radiológica, Universidad de Costa Rica, 2000.
- [15] International Atomic Energy Agency. *Safe Handling of Radionuclides Safety Series, No.1*, (IAEA, Vienna, 1973).
- [16] International Atomic Energy Agency. *Review of the Factors Affecting the Selection of Waste Management Technologies IAEA-TECDOC-1096*, (IAEA, Vienna, 1999).