

Caracterización de los Desechos Radiactivos en el ATDR-Ecuador y Uso de Códigos QR para identificación

Suárez, O.A.¹ y Cherrez, C.M.¹

¹ Ministerio de Electricidad y Energía Renovable,

RESUMEN

El presente trabajo resume las actividades ejecutadas y en transcurso realizadas en el Almacenamiento temporal de desechos radiactivos del Ecuador, se detallan las acciones relacionadas con la caracterización de los desechos, la metodología del inventario, y las experiencias aprendidas al utilizar un sistema de rápida identificación de bultos basada en códigos QR.

En aplicación del documento del Organismo IAEA-TECDOC-1537: "Strategy and Methodology for Radioactive Waste Characterization", se ha establecido los criterios de aceptación de los desechos que ingresan al almacenamiento temporal, se anotan en este artículo la forma en la que han sido aplicadas al conjunto de bultos del ATDR, la separación entre "desechos nuevos" y "desechos históricos", su cumplimiento actual con los criterios de aceptación antes mencionados y su aplicación futura considerando su racionalidad, los costos de la caracterización involucrados, revisión y comparación de los criterios establecidos con la legislación actual vigente, a nivel del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (Reglamento de Protección Radiológica) así como del Ministerio del Medio Ambiente (Modificaciones al Reglamento de desechos peligrosos del Ecuador); considerando que el primero fue elaborado en el año de 1979, es necesario fijar nuevos lineamientos acordes con la realidad nacional y el progreso tanto del conocimiento como de la técnica.

Durante la ejecución de este trabajo se ha valorado las responsabilidades actuales de los involucrados en el proceso de gestión de desechos radiactivos; un informe técnico de las experiencias alcanzadas será remitido para buscar las opciones más viables para su socialización.

Se ha considerado el uso de los códigos QR como una forma de optimizar el tiempo y disminuir la exposición cuando se requiera realizar tareas que necesiten identificar los bultos, la tecnología QR permite leer la información relevante en un periodo mínimo de tiempo y con el uso de un dispositivo móvil y aplicaciones de uso general.

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el Almacenamiento Temporal de desechos radiactivos (ATDR) está ubicado a varios kilómetros de la ciudad de Quito, en las instalaciones del denominado Centro de Estudios Nucleares del Ecuador (CENE), el Responsable de la Instalación y de los procesos asociados es actualmente el Dr. Carlos Cherrez quien es el custodios de la documentación y seguridad de la instalación; en este trabajo se anota también las actividades conjuntas

¹ E-mail del Autor. omarsuarezoquendo@hotmail.com

llevadas a cabo con el Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva que realiza el proceso de análisis de material radiactivo, prestando tareas de apoyo en el ámbito de su competencia, específicamente en la caracterización de los desechos que ingresan o existen en el ATDR.

MARCO LEGAL ACTUAL Y FUTURO.

En la actualidad en marco legal de referencia para la gestión de los desechos radiactivos en el Ecuador es Reglamento de Seguridad Radiológica de 1979, donde se mencionan y norman a los desechos radiactivos en los artículos 10 al 13 y en el artículo 139 [1]; otra normativa que aplica a los desechos radiactivos es la Reforma al Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, expedido Mediante Decreto Ejecutivo no. 3516, publicado en el registro Oficial suplemento 2 del 31 de marzo del 2003, en donde se emite el marco legal para la gestión de sustancias y desechos peligrosos, incorporando por primera vez a la radiactividad como una característica de peligrosidad [2].

Con la colaboración del Organismo Internacional de Energía Atómica, Departamento de Energía de Estados Unidos, así como con la inversión propia del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, las instalaciones del ATDR ha sido mejoradas y la seguridad física incrementada, se han desarrollado las herramientas legales necesarias para ejercer el control y operar las instalaciones de gestión y que actualmente están en espera de su aprobación:

Política para la Gestión Segura de los Desechos Radiactivos y Fuentes Radiactivas Selladas en desuso, y la Norma Técnica para la Gestión Segura de los Desechos Radiactivos y Fuentes Radiactivas Selladas en Desuso [3, 4], ambas a ser implementadas vía acuerdo ministerial una vez concluyan las etapas de revisión corrección y aprobación; en los documentos anteriores se expresan las responsabilidades del ente de control (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable-Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares) y los generadores de los desechos, entre otras responsabilidades del ente rector y de la instalación de gestión podemos indicar: a) mantener, conservar y actualizar los registros relativos a los desechos radiactivos de la instalación; b) realizar actividades de investigación y desarrollo que respondan a las necesidades operacionales de manejo de los desechos radiactivos e implementar sus resultados; c) definir los criterios de aceptación de los desechos radiactivos que son transferidos a la instalación de gestión, procedentes de las entidades generadoras y garantizar que cumplan los criterios de aceptación de los bultos de desechos radiactivos acondicionados que pasan a la disposición final y proponer las opciones de gestión adecuadas para la etapa de disposición final de los desechos radiactivos en el país. Los generadores de los desechos tienen las siguientes responsabilidades: a) Minimizar la generación de los desechos radiactivos mediante un diseño, operación y cierre apropiados de sus instalaciones o prácticas, aplicando los procedimientos adecuados, b) Garantizar que los desechos radiactivos sean gestionados de acuerdo con los principios para la gestión de los desechos radiactivos y las disposiciones legales y reglamentarias vigentes en el país, c)

Elaborar y mantener actualizados los registros y el inventario de los desechos radiactivos, d) Garantizar que se cumplan los criterios de aceptación de los desechos radiactivos que son transferidos a la instalación centralizada de gestión, e) Establecer y ejecutar un programa de aseguramiento de calidad para todas las etapas de la gestión de los desechos radiactivos y; f) Acumular, analizar y cuando proceda, compartir experiencia operacional para conseguir la mejora continua de la seguridad en distintas etapas de la gestión de los desechos radiactivos.

El artículo 7 de la mencionada política establece que será el ATDR quien establecerá las categorías, elaborará y mantendrá un inventario nacional actualizado de los desechos bajo control, y en su artículo 12 establece que todas las fuentes declaradas huérfanas serán gestionadas de forma segura por el ATDR incluyendo los materiales naturales por encima de los valores de excepción y dispensa encontrados en la chatarra.

La mayoría de bultos almacenados en la instalación corresponde a fuentes radiactivas en desuso, fuentes huérfanas, y en una mínima cantidad líquidos u Objetos Contaminados en su Superficie; las actividades de caracterización por tanto se simplifica enormemente y se enfocan en la adecuada identificación del dispositivo, pero han ocurrido hallazgos de materiales radiactivos cuya naturaleza y cantidad no se ha podido precisar de forma inmediata y que han sido trasladados al repositorio hasta contar con instrumentos legales y metodológicos apropiados para su caracterización y gestión [5], ejemplos de este tipo de materiales son, tuberías o materiales conteniendo NORM en cantidades detectables por los pórticos de las empresas acereras nacionales, fuentes radiactivas fuera de su contenedor y botellas conteniendo material radiactivo sin identificar.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE LOS DESECHOS Y FUENTES EN DESUSO.

Los criterios de aceptación actualmente no están detallados pero en lo posible tratan de ajustarse a los requerimientos internacionales [borrador normativa], y consideran al menos lo siguiente: aspectos sobre el contenido de radionúclidos, propiedades físicas, químicas y biológicas del desecho y sobre la naturaleza del contenedor del desecho.

Los desechos son recibidos bajo un estudio caso a caso, los costos asociados a su ingreso y custodia (y posterior gestión) están basados en valores nominales de actividad y son: Gestión de desechos o fuentes exentas, USD 100 + IVA; Gestión de desechos radiactivos o fuentes de hasta 5 Ci: USD 500 + IVA A esto se suma: USD 500 + IVA por concepto de Transporte de fuentes radiactivas; Gestión de desechos radiactivos o fuentes de más de 5 Ci USD: USD 1.000 + IVA A esto se suma: USD 500 + IVA por concepto de Transporte de fuentes radiactivas [tramites ciudadanos]; estos valores evidentemente no cubren los costos operativos y están en revisión.

Los costos de la caracterización no han sido calculados y en los casos en que se han requerido han sido asumidos por la institución (SCAN-MEER), los valores reales solo podrán ser calculados una vez que hayan sido seleccionadas y puestas en operación las opciones de caracterización por parte del laboratorio responsable.

Los criterios de aceptación de desechos definirán los requisitos que el bulto de residuos debe cumplir desde el punto de vista del transporte, almacenamiento provisional y disposición final. Los requisitos se basarán en los siguientes puntos:

- Limitaciones de los procesos de acondicionamiento o de las instalaciones-En estudio actualmente
- Control de los parámetros del proceso de acondicionado-El acondicionado de las fuentes es un proceso que está en desarrollo aún en el ATDR.

- Seguridad del trabajador en todas las fases-Informe de Seguridad-Misión ORPAS.
- Requisitos Legales: Normativa y política en espera de aprobación.
- Límites de Transporte: Adoptados del Reglamento de Transporte Seguro de Material Radiactivo.
- Requisitos de almacenamiento interino-En desarrollo.
- Evaluaciones de integrada del desempeño-Misión ORPAS
- Evaluaciones de desempeño de las instalaciones de disposición-Misión ORPAS
- Requisitos generales de garantía de calidad (independencia, pruebas, etc.)-Sistema de Calidad.

SISTEMA DE IDENTIFICACION Y CARACTERIZACION DE LAS FUENTES Y MATERIALES DEL ATDR

Debemos recordar que el control apropiado de los parámetros químicos y radio químicos de los residuos radiactivos dentro de todo el ciclo de vida de la gestión de residuos, y la prueba cuidadosa de la calidad de las formas de desechos finales y bultos de residuos, son los componentes principales de cualquier estrategia de gestión de residuos [6, 7].

El sistema actual de identificación de las fuentes en desuso está basado en un sistema de etiquetas que colocan la información que se dispone de cada fuente, el mismo no es completo y varias fuentes no están identificadas físicamente, por lo que durante las tareas de monitoreo o en la realización de pruebas de fuga rutinarias e inspecciones demora las tareas de los operadores y aumenta el tiempo de exposición al buscar los datos directamente en la fuente o en la etiqueta, se ha propuesto un método de codificación usando QR y lectores instalados en teléfonos celulares y tabletas como una forma rápida de confirmar la identidad de la fuente durante las tareas antes descritas, disminuyendo los tiempos de exposición y mejorando la captura de información con dispositivos de uso corriente.

Al mismo tiempo se han llevado a cabo algunas tareas de caracterización de materiales que existen en el almacenamiento temporal de residuos radiactivos o que han sido encontrados en otros sitios y cuya gestión se realizará con el único proveedor autorizado del servicio en Ecuador; las dificultades encontradas en la realización de la caracterización son debidas principalmente a la falta de herramientas analíticas y experiencia del laboratorio de apoyo, las oportunidades que se han presentado han permitido detectar oportunidades de mejora relacionadas con este tema.

2. CODIFICACION DE LAS FUENTES RADIATIVAS EN DESUSO Y MATERIALES PRESENTES EN EL ATDR.

Como se ha expresado anteriormente, durante las tareas de monitoreo, realización de pruebas de fuga rutinarias e inspecciones, existe un periodo de tiempo que se ocupa en identificar la fuente radiactiva o material con el sistema de etiquetado basado en letras, que por una parte

no es completo y por otra obliga en muchos casos a permanecer junto a la fuente el tiempo necesario para capturar la información o confirmarla directamente en la fuente (cuando es posible debido a la exposición resultante o a posición de la fuente), de experiencias previas, se han determinado periodos de tiempo desde 2 hasta 10 minutos por el personal que labora ejecutando las tareas antes mencionadas.

2.1. Uso de software de codificación QR sobre el inventario de materiales del ATDR.

El uso de códigos QR no es nuevo en la identificación de desechos, aun para los radiactivos, en La Manche disposal facility (CSM) de Francia se usa un Sistema de Código de Barras para la identificación de los bultos y a futuro se usará los códigos QR [8].

Un Código QR es una simbología tipo matriz que consiste en un conjunto de módulos cuadrados dispuestos en un modelo cuadrado general, incluyendo un patrón de búsqueda único situado en las tres esquinas del símbolo y cuyo objeto es el de ayudar a una fácil localización de su posición, tamaño e inclinación [9].

Cada símbolo Código QR esta construido con módulos nominalmente cuadrados establecidos en una matriz cuadrada regular y consistirá en una región de codificación y patrones de función, es decir, buscador, separador, los patrones de tiempo, y la alineación. Patrones de función no se utilizarán para la codificación de datos. El símbolo estará rodeado por los cuatro costados por una zona vacía de frontera. La Figura 1 ilustra la estructura de un símbolo Versión 7 Código QR

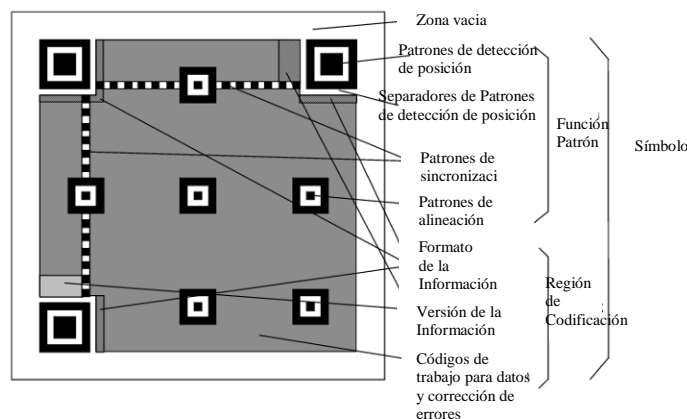


Figura 1. Estructura de un código QR.

Hay cuarenta tamaños de símbolo Código QR denominados como Versión 1, Versión 2 ... Versión 40. Versión 1 mide 21 módulos, 21 módulos, Versión 2 mide 25 módulos, 25 módulos y así sucesivamente cada vez mayor en pasos de 4 módulos por lado hasta la versión 40, que mide 177 módulos, 177 módulos.

2.1.1 Patrón de búsqueda:

Compuesto de tres patrones de detección de posición idénticos situados en la parte superior izquierda, superior derecha e inferior izquierda de las esquinas del símbolo, respectivamente, como se ilustra en la Figura 2. Cada patrón de detección de posición se puede ver como tres

cuadrados concéntricos superpuestos y constituidos por 7x7 módulos oscuros, 5x5 módulos claros, 3x3 módulos oscuros.

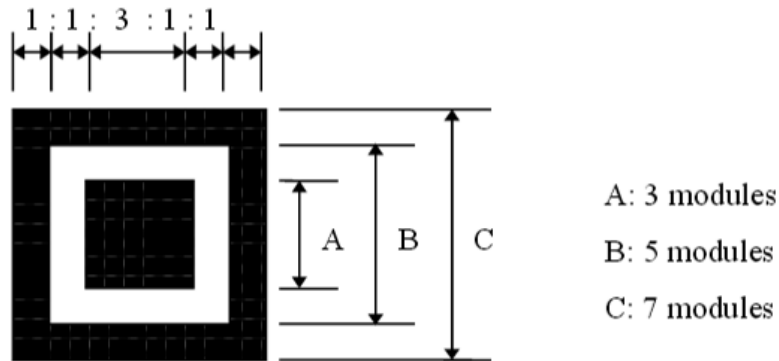


Figura 2. Estructura del Patrón de detección de posición.

La relación de anchuras de módulo en cada patrón de posiciones de detección es de 1: 1: 3: 1: 1 como se ilustra en la Figura 2. El símbolo está codificado preferentemente de modo que los patrones similares tienen una baja probabilidad de ser hallados en otras partes del símbolo, lo que permite la identificación rápida de un posible símbolo de código QR en el campo de visión. La identificación de los tres patrones de posiciones de detección que comprende el patrón buscador define inequívocamente la localización y orientación del símbolo en el campo de visión.

2.1.2 Separadores:

Un módulo amplio de separación se coloca entre cada patrón de detección de posición y codifica la región, como se ilustra en la Figura 1, y está construido de todos los módulos claros.

2.1.3 Patrón de Sincronización:

Los patrones de sincronización horizontal y vertical respectivamente consisten en un módulo amplio de fila o una columna de módulos alternantes claros y oscuros, comenzando y terminando con un módulo oscuro. El patrón de sincronización horizontal atraviesa la fila 6 del símbolo entre los separadores para los Patrones de detección de posición superior; el patrón de sincronización vertical, funciona de manera similar hacia abajo la columna 6 del símbolo entre los separadores a la izquierda de los Patrones de posición de detección. Estos permiten determinar la densidad del símbolo y la versión y proporcionan posiciones de referencia para la determinación de las coordenadas de los módulos.

2.1.4. Patrones de alineación:

Cada patrón de alineación puede ser visto como tres cuadrados concéntricos superpuestos y está construido de 5x5 módulos oscuros, 3x3 módulos claros y un único módulo oscuro central.

2.1.5 Región de codificación:

Esta región deberá contener los caracteres de símbolos que representan los datos, los que representan a las palabras de código de corrección de errores, la información sobre la versión y formato de la información.

2.1.6 Zona vacía:

Esta es una región amplia de 4X que deberá estar libre de todas las demás marcas, rodea el símbolo por los cuatro costados. Su valor nominal de reflectancia será igual a la de los módulos de luz.

2.1.7 Estructura de los códigos QR del inventario del ATDR:

La siguiente información fue transformada en código QR y corresponde a la contenida en los registros de cada fuente:

INVENTARIO DE DESECHOS Y FR EN DESUSO
CÓDIGO INTERNO:
DESCRIPCIÓN DEL ITEM:
RADIONUCLEIDO
TIEMPO DE VIDA MEDIA EN DIAS.
ACTIVIDAD (mCi):
ACTIVIDAD (MBq):
FECHA DE REFERENCIA:
ACTIVIDAD ACTUAL:
MODELO:
NÚMERO DE SERIE:
GENERADOR DEL DESECHO:
CONDICIÓN:
VALOR PARA ACONDICIONADO:



Figura 3. Datos codificados en los símbolos QR.

Los códigos fueron generados usando el software QuickMark y QRGenV1.0 (figura 4); con un estándar Versión 13 (69×69 módulos), Ecc M, 8bit (utf8), los resultados son similares en ambos casos.

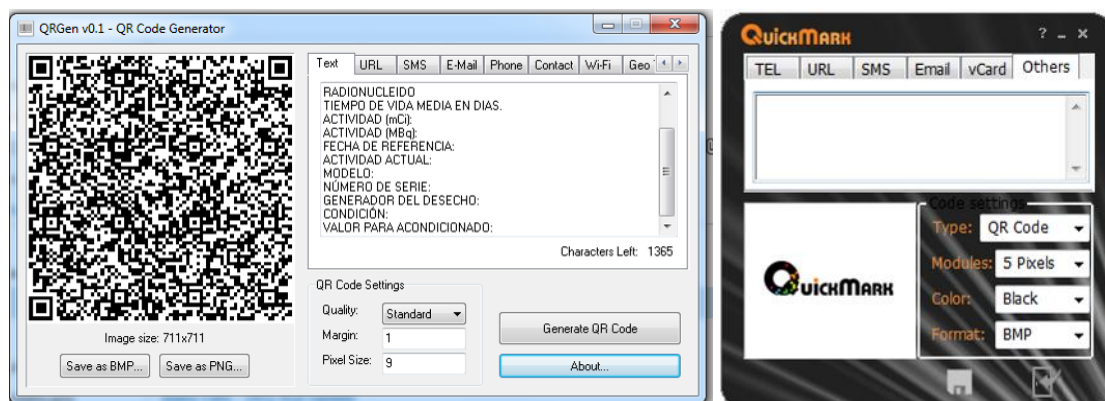


Figura 4. Datos codificados en los símbolos QR.

En total se elaboran 164 etiquetas correspondientes a 164 fuentes en desuso y desechos radiactivos actualmente inventariados en el ATDR.

2.1.8 Lectura de códigos QR:

Los códigos fueron impresos de tamaño A6 en etiquetas autoadhesivas, protegidos con plástico y colocados en las fuentes del ATDR, los tiempos de escaneo de los dispositivos fueron variables, considerando la alta cantidad de información presente en cada etiqueta.

Para ejecutar las tareas de respuesta se utilizaron varios dispositivos celulares, las respuestas obtenidas se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1. Resultados de lectura en dispositivos celulares

Equipo	Tiempo de adquisición de información de código QR (s)	Programa de Lectura de Código QR
Celular Nokia 630	3-5 segundos	i-nigma (falla en códigos demasiado largos). Códigos qr offline (lee la versión final de las etiquetas)
Celular Blackberry 9800	10-60 segundos	i-nigma (falla en códigos grandes)
Tableta Generica	30 segundos	Aplicación nativa
Celular Nokia ASHA 230	-----	No posee resolución adecuada para leer códigos QR.
Celular Blackberry Curve	-----	No posee resolución adecuada para leer códigos QR.
Lectura visual	60 s – 10 minutos	-----

2.2. Caracterización de fuentes radiactivas del ATDR.

De la revisión de la información disponible se detectaron fuentes en desuso y desechos radiactivos que no poseen trazabilidad o cuya información es incompleta, constituyéndose así en desechos históricos; estos deben a su vez ser caracterizados ya sea en su actividad y/o identidad. Del total de 164 fuentes radiactivas presentes en el ATDR, 5 fuentes DRS, 7 fuentes RSW, 6 fuentes RLW requieren su caracterización.

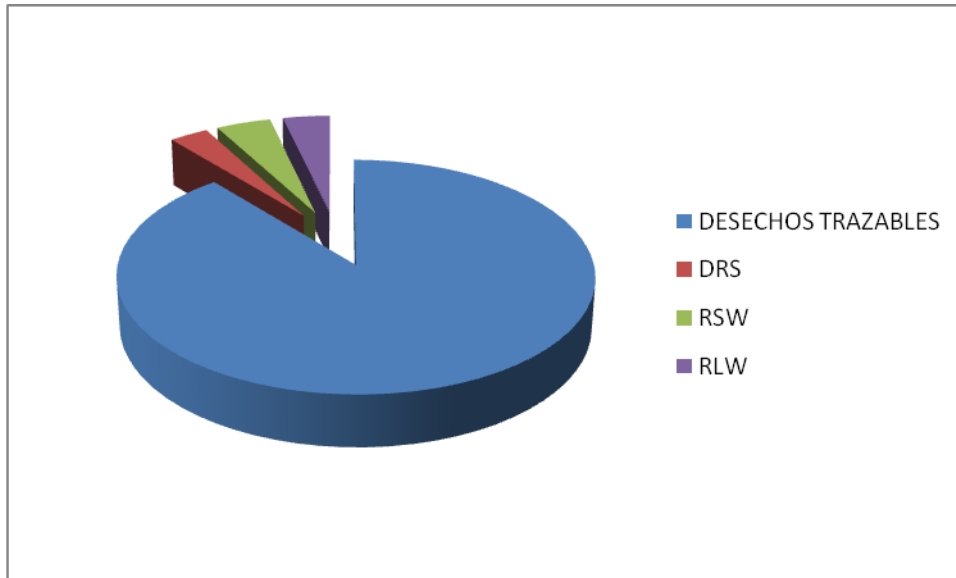


Figura 5. Desechos que requieren caracterización.

Actualmente se ha realizado esfuerzos por caracterizar parte de estos materiales usando para ello el equipamiento disponible del laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva, se han realizado mediciones para determinar la identidad de los materiales radiactivos usando espectrometría gamma in situ, con el equipo portátil INSPECTOR 1000, lográndose identificar positivamente como Ra-226 algunas de las fuentes presentes, así como determinar la identidad de fuentes de Cs-137 y Co-60 (figura 6)..

Las mediciones de actividad solo han sido realizadas usando aproximaciones gruesas como la constante específica gamma y las tasas de dosis; la determinación in situ de la actividad no es posible actualmente debido a la falta de estándares adecuados, personal capacitado y procedimientos de trabajo estandarizados.

Algunos de los espectros obtenidos de las mediciones se presentan a continuación:

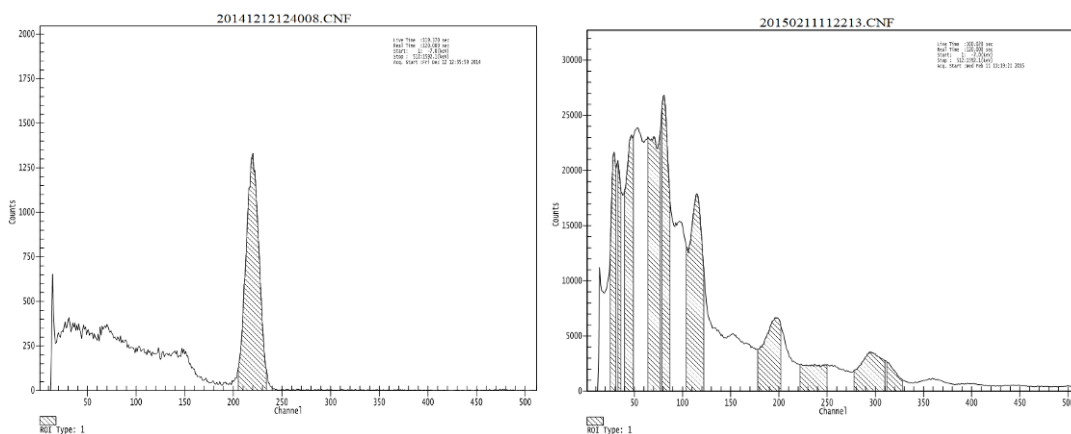


Figura 6. Espectros de fuentes por caracterizar del ATDR.

De mediciones puntuales se estimó a actividad de las fuentes de radiación gamma encontradas en el ATDR, en el caso de las fuentes de Ra-226 solo se estima para este radionúclido y no para el resto de la cadena de desintegración.

La fórmula usada en los cálculos fue la siguiente:

$$A = \frac{X * d^2}{\Gamma} \quad (1)$$

Donde d es la distancia del punto de medición de la tasa de dosis a la fuente en metros, X la tasa de dosis en mSv/h y Γ es la constante específica gamma en unidades de mSv.m²/ h.GBq y A la actividad en GBq.

Los valores caracterizados con la formula sobre las fuentes radiactivas del ATDR dan valores de entre 2 y 1,6 Ci en materiales de Ra-226, que están dentro de los límites de actividad de estas fuentes en su uso (descontinuado) en braquiterapia.

3. CONCLUSIONES

La utilización de los códigos QR disminuye los tiempos de exposición de los analistas de la SCAN en sus tareas rutinarias a ser realizadas en el ATDR

Actualmente los esfuerzos realizados para la caracterización de los desechos radiactivos y especialmente de aquellos que se prevé sean ingresados en calidad de fuentes huérfanas son limitados tanto por la falta de recursos como de experiencia del personal involucrado.

La caracterización de los desechos se complica cuando se trata de materiales NORM, tanto por la cantidad que se genera (conforme la normativa propuesta serán gestionados por la SCAN) así como por la diversidad de radionúclidos presentes y su presencia heterogénea en las superficies.

Los criterios de aceptación de los desechos radiactivos y fuentes radiactivas en desuso deben ser detallados, socializados y aceptados por la autoridad regulatoria, instalación de gestión de desechos radiactivos y los generadores de desechos radiactivos.

La comparación de los criterios actuales determinados en los borradores de las Políticas y Normativas con respecto a la gestión de desechos radiactivos tienen algunas discrepancias que deberán ser resueltas a nivel jerárquico superior con respecto a las responsabilidades de la Autoridad Reguladora, la Instalación y el generador de desechos; estas se encuentran tanto en la aplicación del Acuerdo 161 de Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador, como en recomendaciones dadas por el OIEA.

El personal del ATDR y VAR debe recibir capacitación específica para poder realizar caracterizaciones adecuadas, siendo esta una recomendación de este trabajo, las mismas deben incluir métodos de análisis, uso de software de modelización de geometrías (tipo ISOSC de Canberra, deteff o similares), uso de espectrometría gamma in situ.

4. REFERENCIAS

1. Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica., “*Reglamento de Seguridad Radiológica*”, Registro Oficial N° 891, miércoles 8 de agosto de 1979, Ecuador: Quito (1979).
2. Ministerio del Medio Ambiente., “*Acuerdo Ministerial No 161: Reforma al Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, expedido mediante Decreto Ejecutivo No. 3516, publicado en el registro Oficial suplemento 2 del 31 de marzo del 2003*”, Ecuador: Quito (2012).
3. Dirección Nacional de Aplicaciones Nucleares y Cooperación Técnica., “*POLÍTICA PARA LA GESTIÓN SEGURA DE LOS DESECHOS RADIATIVOS Y FUENTES RADIATIVAS SELLADAS EN DESUSO*”. Borrador. Ecuador: Quito (2014).
4. Dirección Nacional de Aplicaciones Nucleares y Cooperación Técnica., “*NORMA TÉCNICA PARA LA GESTIÓN SEGURA DE LOS DESECHOS RADIATIVOS Y FUENTES RADIATIVAS SELLADAS EN DESUSO*”. Borrador. Ecuador: Quito (2014).
5. Dirección Nacional de Aplicaciones Nucleares y Cooperación Técnica-Gestión de Desechos Radiactivos., “*Inventario de Desechos Radiactivos y Fuentes Radiactivas Selladas en Desuso del ATDR*”. Base de datos del ATDR. Ecuador: Quito (2014).
6. International Atomic Energy Agency., “*Strategy and Methodology for Radioactive Waste Characterization*”, IAEA-TECDOC-1537, Vienna: Austria (2007).
7. International Atomic Energy Agency., “*Security of radioactive sources*”. TECDOC-1355, Vienna: Austria (2003).
8. NUCLEAR ENERGY AGENCY., “*Radioactive Waste Repository Metadata Management (REPMET) Initiative*,” Summary Record of the First Meeting, Issy-les-Moulineaux, France, 20-21 January 2014, NEA/RWM/IGSC(2014)3. (2014).
9. International Standards Organization. “*Information technology — Automatic identification and data capture techniques — Bar code symbology — QR*”. ISO/IEC 18004:2000(E). Switzerland (2000).