



# Informe Científico Tecnológico 2009

**Instituto Peruano de Energía Nuclear**

**FÍSICA Y QUÍMICA**

**CIENCIA DE LOS MATERIALES**

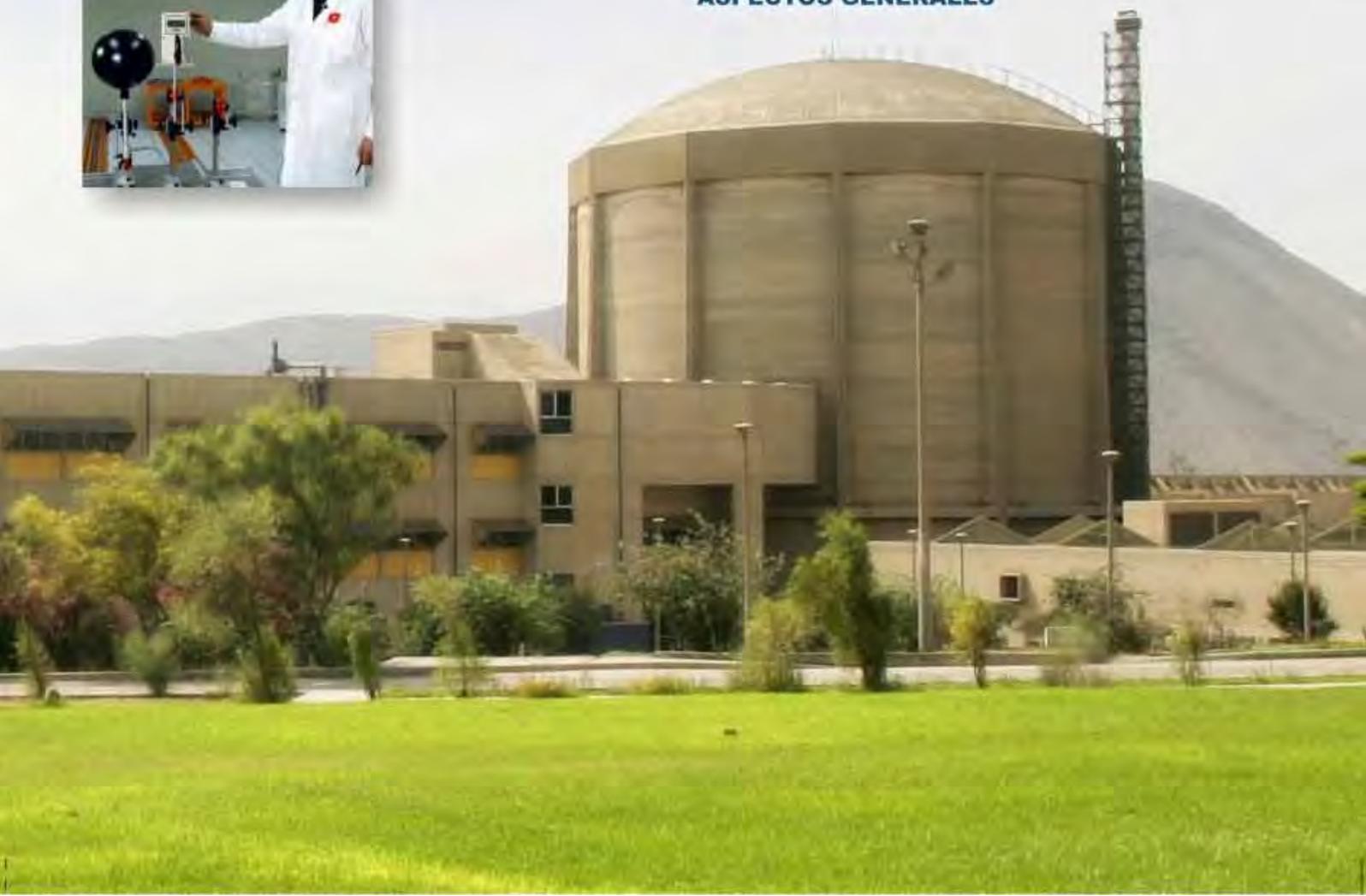
**INGENIERÍA NUCLEAR**

**APLICACIONES EN MINERÍA, INDUSTRIA  
Y MEDIOAMBIENTE**

**APLICACIONES EN MEDICINA Y BIOLOGÍA**

**SEGURIDAD NUCLEAR Y PROTECCIÓN  
RADIOLÓGICA**

**ASPECTOS GENERALES**



**INFORME CIENTÍFICO TECNOLÓGICO  
2009**

## INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR – IPEN

Presidente: Ing. Carlos Barreda  
Director Ejecutivo: Dr. Antonio Carmelino Cornejo  
Editor en Jefe: Antonio Prado Cuba  
Comité Editor Científico:  
Julio Santiago Contreras  
Alcides López Milla  
Bertha Ramos Trujillo  
Carátula Unidad de Imagen Institucional

---

ISSN 1684-1662 Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2010-14640  
Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú  
Lima, noviembre 2010

---

© Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)

Telefax 2252459  
Página Web: <http://www.ipen.gob.pe>  
E-mail: [postmaster@ipen.gob.pe](mailto:postmaster@ipen.gob.pe)

Se permite la reproducción parcial y referencial, con la obligación de citar la fuente “**Informe Científico Tecnológico 2009**” del Instituto Peruano de Energía Nuclear.

Los trabajos publicados en el Informe Científico Tecnológico 2009 han sido desarrollados en el IPEN; en algunos casos, en colaboración con otras instituciones nacionales y extranjeras. Los editores señalan explícitamente que el contenido, métodos y resultados expuestos por los autores de los artículos, son de su responsabilidad.

Impreso en Lima - Perú

Noviembre 2010

# CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE TRABAJOS</b>	<b>VII</b>
<b>I. FÍSICA Y QUÍMICA</b>	<b>1</b>
<b>II. CIENCIA DE LOS MATERIALES</b>	<b>73</b>
<b>III. INGENIERÍA NUCLEAR</b>	<b>105</b>
<b>IV. APLICACIONES EN MINERÍA, INDUSTRIA Y MEDIOAMBIENTE</b>	<b>129</b>
<b>V. APLICACIONES EN MEDICINA Y BIOLOGÍA</b>	<b>157</b>
<b>VI. SEGURIDAD NUCLEAR Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA</b>	<b>173</b>
<b>VII. ASPECTOS GENERALES</b>	<b>203</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>237</b>
<b>ÍNDICE DE AUTORES</b>	<b>263</b>



## Presentación

En nuestro país el eje de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear lo constituye el reactor nuclear de investigación RP-10 del Centro Nuclear Oscar Miroquesada de la Guerra (RACSO), cuya carga de elementos combustibles (óxido de uranio) realizada hace más de veinte años se encuentra en su fase final de quemado. La continuidad de su operación puede verse afectada por el agotamiento de dicho combustible. Por esa razón, la gestión actual le dio alta prioridad a la compra de una nueva carga logrando que el gobierno –a través del valioso apoyo del Ministerio de Energía y Minas– apruebe una transferencia de recursos para la adquisición de nuevos elementos combustibles y mantenimiento de diversos sistemas del reactor.

Varios artículos originales contenidos en el Informe Científico Tecnológico 2009 (ICT 2009), responden a investigaciones realizadas utilizando el reactor como la fuente principal de neutrones para las investigaciones y experimentos.

En el tema de energía nuestro país avanza en la diversificación de su matriz energética, no solo con la finalidad de garantizar su sostenibilidad, sino como una política para coadyuvar a la reducción de la emisión de gases del efecto invernadero. En esa orientación se ha logrado incluir la opción de la energía nucleoelectrica dentro de la “Política Energética del Perú 2010-2040” del Ministerio de Energía y Minas y a la fecha se viene coordinando activamente con funcionarios de su Dirección General de Electricidad, para determinar los pasos que permitan actualizar la información para elaborar los estudios de factibilidad del proyecto.

En el ámbito energético, se han realizado estudios con trazadores radiactivos y ambientales para la determinación de tiempo de tránsito de las aguas en hidroeléctricas para la mejor utilización y aprovechamiento de los recursos hídricos. Asimismo, estos trazadores han permitido determinar el origen de las aguas filtradas en los túneles de estas instalaciones.

En el ICT se publica un estudio de proyección analizando todas las opciones energéticas sobre la demanda de energía con modelos matemáticos de última generación; de igual manera, se incluye un artículo técnico sobre los efectos de la radiación en los sensores de gas licuado de petróleo (GLP) y el gas natural (GN), como un aporte para su empleo seguro y eficiente. En el campo de la minería, publicamos un informe sobre el tratamiento de los residuos radiactivos producto de la minería de uranio realizada en la Región Puno; así como el relacionado con los aspectos medioambientales, para la identificación del gas natural radón en la actividad minera.

En el sector industrial y minero, se han realizado evaluaciones de seguridad radiológica debido al uso de las fuentes de radiaciones ionizantes en equipos de análisis de materiales y de medidores nucleares empleados en los procesos de producción.

La agricultura, especialmente orientada a la agroexportación requiere de agua, recurso escaso en la costa y abundante en la Amazonía. Por eso, en el campo de la hidrología isotópica se muestran resultados de trabajos orientados a la medición y determinación de caudales usando radiotrazadores que son útiles para la identificación de acuíferos y cursos de aguas subterráneas y superficiales. En este sector el IPEN también realiza una labor de difusión orientada a los agroexportadores como la Asociación de Exportadores (ADEX) y la Asociación Frío Aéreo para que utilicen las ventajas de la irradiación de alimentos, con la finalidad de mejorar la calidad de la oferta exportable asegurando los aspectos fitosanitarios y la inocuidad para su comercialización internacional.

En el campo de la biología molecular contribuimos a la mejora de la calidad de la lana y el manejo de las enfermedades infecciosas en los camélidos sudamericanos, particularmente del sector alpaquero. En esa línea presentamos estudios sobre el ADN genómico de la alpaca. Con la misma finalidad, publicamos un estudio sobre el ADN genómico de cuy (*Cavia porcellus*). También se ha caracterizado e identificando las propiedades medicinales de algunas plantas en apoyo de la salud.

En el campo de la química y física se presentan trabajos donde se analiza la neutrografía como una técnica para aplicaciones prácticas; asimismo, se muestran los resultados de los trabajos en arqueología orientados a investigar nuestro pasado histórico con estudios mediante técnicas nucleares y contribuir de esa forma al repotenciamiento del turismo.

En el campo de la ciencia de los materiales se continúa trabajando en la obtención de diversas nanopartículas que tienen aplicaciones prácticas en los dispositivos ópticos, sensores para el combustible gas, catálisis, electrónica, plásticos, industria textil, medicina, etc. También estudios sobre la interacción de partículas para determinar su comportamiento en las aleaciones.

El uso intensivo de la radiación en los diversos campos de la actividad humana, requiere de medidas de seguridad y protección radiológica al público, a la propiedad y al medioambiente. Durante la presente gestión, en ejecución del Plan Estratégico 2010-2016 se han aprobado los “Requisitos de seguridad radiológica en radiografía industrial” y se ha prepublicado los proyectos de “Ley de seguridad nuclear”, “Ley de residuos radiactivos”, “Reglamento de ley de seguridad nuclear” así como las normas técnicas de “Requisitos técnicos y administrativos para servicios de dosimetría individual externa”, la correspondiente a “Seguridad física para instalaciones radiactivas” y “Normas técnicas para la minería del uranio, torio y materias primas”.

En el país hay muchas fuentes radiactivas en desuso, especialmente los usados en los hospitales para teleterapia y braquiterapia en el tratamiento del cáncer. Mediante un convenio con el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América se ha logrado incluirlos en el programa de repatriación como desechos radiactivos. En el mes de noviembre del 2010 se han repatriado las fuentes en desuso de origen norteamericano que se encontraban almacenados en nuestra Planta de Gestión de Desechos Radiactivos, constituyendo un evento sin precedentes en nuestro país que contribuye a la iniciativa mundial de garantizar importantes niveles de seguridad. Los procedimientos y reportes de estos casos se publican en la sección correspondiente.

A escala mundial la medicina nuclear requiere de un suministro permanente de radioisótopos y radiofármacos como el Tecnecio-99. En esa dirección se viene trabajando con otras instituciones de la región para establecer acuerdos que posibiliten la producción de generadores de tecnecio en el Centro Nuclear RACSO; asimismo, estamos trabajando para la certificación de nuestros laboratorios de acuerdo con los requerimientos de la Dirección General de Medicamentos, Insumos y Drogas (DIGEMID). En el ICT incluimos artículos que muestran los resultados de lo avanzado en este campo. Con el Seguro Social del Perú (Essalud) se ha suscrito y se ejecuta un convenio específico para poner en servicio un Ciclotrón, el mismo que permitirá el funcionamiento óptimo de tomógrafos PET CT para aplicaciones en oncología, cardiología, neurología e investigación.

La capacitación para la asimilación de competencias es integral y permanente en el IPEN, mediante un convenio específico con el Ministerio de Energía y Minas se dictó el modelo matemático MESSAGE para el sector energía. Asimismo, con auspicio del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) el IPEN fue sede de la primera Reunión de Coordinación sobre Seguridad Radiológica, Educación y Entrenamiento de América Latina y el Caribe; se tuvo un taller de comunicación con socios estratégicos en desarrollo de minería de uranio, y en diciembre 2010 tendremos la reunión para la implementación de la Red Latinoamericana en Educación Nuclear (LANENT). Una práctica común entre los principales laboratorios del mundo son los trabajos de intercomparación y ejercicios internacionales, útiles para la acreditación y entrenamiento, en el apartado correspondiente incluimos los reportes de los casos.

En apoyo a la agenda de innovación para el desarrollo de la competitividad del Ministerio de Economía y Finanzas se participó en la Evaluación de las políticas públicas en innovación, diagnóstico de necesidades y desempeño de los institutos públicos de investigación y desarrollo tecnológico, que en su segunda fase contó con la participación de una consultora finlandesa.

Esperamos que esta edición del Informe Científico Tecnológico contribuya a mejorar la visibilidad y los indicadores de la producción científica del IPEN en particular, y del país en general.

**Carlos Barreda Tamayo**

Presidente del IPEN  
Lima 19 de noviembre del 2010

# Índice de Trabajos

	Página
<b>I. FÍSICA Y QUÍMICA</b>	<b>1</b>
<b>1. Neutrografía con el reactor RP-10 y sus aplicaciones prácticas</b> Alcides López, Javier Gago	<b>3</b>
<b>2. Estudios por difracción de rayos X y espectroscopía Mossbauer de cerámicos de la cultura Nasca</b> Javier Alcalde, Luisa Vetter, Jorge Bravo, Yezenia Yaupar, Susana Petrick, Alcides López, Paula Olivera, Julio Santiago	<b>10</b>
<b>3. Caracterización química de la cerámica arqueológica de Cotahuasi mediante análisis por activación neutrónica</b> Patricia Bedregal, Pablo Mendoza, Marco Ubillús, Eduardo Montoya	<b>16</b>
<b>4. Evaluación de la actividad antioxidante, contenido de polifenoles totales y actividad antimicrobiana de fracciones de sangre de grado, <i>Croton lechleri</i></b> Justo Carrión, Rosa Avilés, Kety León, Julio Santiago	<b>25</b>
<b>5. Caracterización microestructural de cenizas de <i>Morinda citrifolia</i> Linneo Noni</b> Zoila Garay, Alcides López, Otilia Acha, Amanda Souza, Ingrid Collantes, Paula Olivera, Julio Santiago	<b>29</b>
<b>6. Neutron emission effects on fragment mass and kinetic energy distribution from fission of <math>^{239}\text{Pu}</math> induced by thermal neutrons</b> Modesto Montoya, Justo Rojas, Iván Lobato	<b>36</b>
<b>7. The development of the <math>k_0</math> method in Peru: Past, present, and future perspectives</b> Eduardo Montoya, Patricia Bedregal, Pablo Mendoza, Marco Ubillús, Blanca Torres, Isac Cohen	<b>41</b>
<b>8. <math>k_0</math>-INAA method accuracy using Zn as comparator</b> Patricia Bedregal, Pablo Mendoza, Marco Ubillús, Eduardo Montoya	<b>48</b>
<b>9. Corrección de eficiencia por variación de geometría, empleando hojuelas de Zn como comparador en mediciones de INAA paramétrico</b> Pablo Mendoza, Carmen López, Rosa Airas, Eduardo Montoya	<b>54</b>
<b>10. Técnicas nucleares en el estudio de piezas de oro de Morro de Étén</b> Luisa Vetter, Susana Petrick, Paula Olivera	<b>60</b>
<b>11. Descifrando algunas piezas de metal de la colección Versteylem mediante el uso de técnicas analíticas nucleares</b> Paula Olivera, Pilar Portocarrero	<b>67</b>
<b>II. CIENCIA DE LOS MATERIALES</b>	<b>73</b>
<b>12. Titanium dioxide nanoparticles obtained by Sol Gel Method: Effect of the catalyst Acids</b> María Quintana, Juan Rodríguez, José Solís, Roberto Candal, Walter Estrada	<b>75</b>
<b>13. Influencia de la orientación y el tamaño de grano de los cristalitas de Al y Fe sobre el alcance de los iones <math>\text{He}^{2+}</math></b> Justo Rojas, Modesto Montoya	<b>82</b>
<b>14. Síntesis sonoquímica de nanopartículas de CuO impregnadas en tejidos de algodón. Caracterización y actividad antimicrobiana</b> Kety León, Alcides López, Javier Gago, José Solís	<b>87</b>

<b>15. Efecto de los rayos gamma en la fabricación de sensores de Gas Natural (GN) y Gas Licuado de Petróleo (GLP) con ZnO nanoestructurado</b>	<b>92</b>
Alcides López, Robert Paria, José Solís	
<b>16. Atomic and electronic structure transformations of silver nanoparticles under a rapid cooling conditions</b>	<b>97</b>
Iván Lobato, Justo Rojas, Carlos Landauro, Juan Torres	
<b>III. INGENIERÍA NUCLEAR</b>	<b>105</b>
<b>17. Automatización del sistema de ventilación del reactor RP-10</b>	<b>107</b>
Oscar Baltuano, Agustín Urcia, Dionisio Canaza, Rolando Arrieta	
<b>18. Diseño y construcción de una campana de flujo laminar vertical para el recinto de <sup>153</sup>Sm-EDTMP</b>	<b>112</b>
Luis Cavero, Roberto Koga, Jorge Herrera, Ramos Martínez, Luis Huatay, Elías Ocaña, Max Medina	
<b>19. Control de calidad de las cápsulas y tapas de aluminio empleadas en la irradiación de blancos para la producción de los radioisótopos</b>	<b>115</b>
María Benites, Pablo Mendoza, Andrés Corahua, Jesús Miranda	
<b>20. Sistema supervisor para la tasa de exposición en celdas de producción</b>	<b>121</b>
José Pardo, Andrés Corahua, Elías Ocaña, Buenaventura Guevara	
<b>21. Construcción de un medidor digital de tiempo para un laboratorio de calibraciones</b>	<b>125</b>
Ever Cifuentes, Tony Benavente Enrique Rojas	
<b>IV. APLICACIONES EN MINERÍA, INDUSTRIA Y MEDIOAMBIENTE</b>	<b>129</b>
<b>22. Demanda nacional de energía: Período 2005-2030</b>	<b>131</b>
Juan Ávila, Olgger Anaya, Carlos Cáceres, Víctor Altamirano	
<b>23. Tratamiento de líquidos lixiviados conteniendo uranio</b>	<b>137</b>
Genaro Rodríguez, Álvaro Aguirre, Tommy Pretel	
<b>24. Determinación de parámetros hidrodinámicos en el río Chillón utilizando trazadores salinos y el software RTD</b>	<b>142</b>
José Maguiña, Enoc Mamani, Gerardo Maghella, Jorge Condori	
<b>25. Determinación de parámetros hidrodinámicos en cuerpo de agua superficial utilizando <sup>99m</sup>Tc como trazador radiactivo</b>	<b>145</b>
José Maguiña, Enoc Mamani, Jorge Condori	
<b>26. Medición de caudales y determinación de parámetros hidrodinámicos en tuberías utilizando radiotrazadores y el software RTD</b>	<b>148</b>
Gerardo Maghella, Enoc Mamani, José Maguiña, Jorge Condori	
<b>27. Determinación del factor de destilación del <sup>99m</sup>Tc en una operación de destilación simple</b>	<b>151</b>
Gerardo Maghella, Enoc Mamani, Jorge Condori	
<b>28. Tecnología de irradiación en pimienta negra molida (<i>Pipiper nigrum</i>)</b>	<b>153</b>
Johnny Vargas, Marco Linares, Emma Castro	
<b>V. APLICACIONES EN MEDICINA Y BIOLOGÍA</b>	<b>157</b>
<b>29. Validación de la técnica de PCR para la amplificación de una secuencia de 118pb. del exón 2 perteneciente al gen TLR2 de alpaca (<i>Vicugna pacos</i>)</b>	<b>159</b>
Angel Montes, Jorge Rodríguez, Juan Agapito	

<b>30. Identificación preliminar de microflora bacteriana en el compartimiento 1 del sistema digestivo en alpacas (<i>Vicugna pacos</i>)</b>	<b>163</b>
Jorge Rodríguez, Fernando Carcelen, Juan Agapito, Teresa Barreto, Carolina Rodríguez, Felipe San Martín	
<b>31. Identificación preliminar de microflora bacteriana en el ciego del cuy (<i>Cavia porcellus</i>)</b>	<b>166</b>
Fernando Carcelen, Arnaldo Alvarado, Roxana Mires, Katerine Porturas, Juan Agapito, Jorge Rodríguez, Rosa Gonzáles, Felipe San Martín	
<b>32. Relación médico-paciente al calmar el dolor óseo utilizando <sup>153</sup>Sm-EDTMP: Lecciones aprendidas</b>	<b>169</b>
Rosanna Morales, Roque Cano, Germán Mendoza	
<b>VI. SEGURIDAD NUCLEAR Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA</b>	<b>173</b>
<b>33. Monitoreo de radón en la zona uranífera de Macusani, Región Puno</b>	<b>175</b>
Susana Gonzáles, José Osoreo, Edith López, Jorge Martínez, Raúl Jara	
<b>34. Des acondicionamiento de fuentes selladas en desuso colocadas en matrices de cemento</b>	<b>178</b>
Mario Mallaupoma, Yuri Hernández, Luis Huatay, Walter Cruz	
<b>35. Recuperación del Americio 241 de los pararrayos por tratamiento químico</b>	<b>183</b>
Walter Cruz, Eduardo Cunya, Tommy Pretel	
<b>36. Films radiocrómicos como dosímetros de rutina</b>	<b>186</b>
Marco Linares, Liz Villanueva, Johnny Vargas, Mónica Vivanco, Emma Castro, Daniel Alama	
<b>37. Root uptake of Cs-137 by natural grasses as a function of properties of soils</b>	<b>192</b>
José Osoreo	
<b>38. Aspectos operacionales para la repatriación de fuentes de radio-226</b>	<b>195</b>
Mario Mallaupoma, Hernán Amico, Luis Zapata, Luis Huatay, Luis Cavero, Carlos Herrera, Eduardo Carrasco, Jonathan Pacheco	
<b>39. Valores satisfactorios de Cesio-137 obtenidos en la prueba de aptitud IAEA-Cu-2007-03 “World Wide Open Proficiency Test on the Determination of Radionuclides”</b>	<b>200</b>
Edith López, José Osoreo, Jorge Martínez, Susana Gonzáles, Raúl Jara	
<b>VII. ASPECTOS GENERALES</b>	<b>203</b>
<b>40. Ejercicio internacional de envío de muestras de sangre (ShipEx-1): La participación del Perú a través del IPEN</b>	<b>205</b>
Marco Espinoza	
<b>41. The Latin American Biological Dosimetry Network (LBDNET): Argentina, Brazil, Chile, Cuba, México, Perú, and Uruguay</b>	<b>211</b>
Marina Di Giorgio, María Vallergera, Analía Radl, María Taja, Analía Seoane, Julio De Luca, Mónica Stuck, Patricia Valdivia, Omar García, Ana Ilsa La Madrid, Jorge González, Ivone Romero, Tania Mandina, Citlali Guerrero, Carolina Arceo, Nilda Oliveros, Wilner Martínez, María Di Tomasso, Leticia Méndez, Francesc Barquiner, Laurence Roy, Marco Espinoza	
<b>42. Methodology for cost analysis to evaluate economical impact on denial and delay of shipments of radioactive material</b>	<b>220</b>
Mario Mallaupoma, Natanael Bruno	

<b>43. Interregional Third Workshop for Ibero-American Laboratories Network of Radioactivity Analysis in Foods (RILARA), Lima, Peru 2009</b>	<b>223</b>
José Osóres, Raúl Jara	
<b>44. Casos de Rechazos y retrasos en el transporte de material radiactivo en la región de América Latina y el Caribe</b>	<b>226</b>
Mario Mallaupoma, Ana Sobreira, Nathalia Braga	
<b>45. Método para la evaluación de desempeño de los proyectos de investigación en el IPEN</b>	<b>230</b>
Carlos Gayoso	
<b>46. Cursos regionales de capacitación en protección radiológica como estrategia para mejorar la cultura de seguridad</b>	<b>234</b>
Mario Mallaupoma, Edgard Medina, Carlos Pita	

# **I. Física y Química**

## Neutrografía con el reactor RP-10 y sus aplicaciones prácticas

Alcides López\*, Javier Gago

Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

La neutrografía es una técnica de ensayo no destructivo, sus características principales son la elevada absorción neutrónica de los elementos ligeros y la alta contrastación de materiales de densidades similares, entre las aplicaciones típicas podemos mencionar al análisis de combustibles nucleares, detección de materiales hidrogenados y orgánicos, detección de fallas en álabes de turbinas, corrosión en componentes de aeronaves, control de calidad de materiales cerámicos, detección de drogas y materiales explosivos (útiles en la industria pirotécnica y de municiones), estudio de materiales arqueológicos, detección de películas lubricantes en sistemas de rodamiento así como procesos dinámicos de lubricación y combustión entre otros. En el presente trabajo se muestran variados ejemplos aplicativos obtenidos con el reactor RP-10.

**Palabras claves:** Neutrografía, Ensayos no destructivos, Aplicaciones nucleares

### Abstract

Neutrography is a non destructive essay, their principal characteristics are the high neutron absorption by light elements and the high contrast of materials of similar thickness, the typical applications that we can mention are the analysis of nuclear fuels, detection of hydrogenated and organic materials, detection of flaws in turbine blades, corrosion in airships components, ceramic materials quality control, drugs and explosive materials detection (useful in the pyrotechnic industry and ammunitions), study of archaeological materials, detection of lubricating film in bearing systems as well as dynamic processes of lubrication and combustion and so for. In the present work, varied examples of applications obtained with the RP-10 reactor are shown.

**Keywords:** Neutrography, Non destructive testing, Nuclear applications

### 1. Introducción

La neutrografía o radiografía neutrónica es una técnica de ensayo no destructivo que permite ver o fotografiar el interior de estructuras sólidas por medio de un haz de neutrones, juega un importante rol en la medicina, biología y ciencia de los materiales aportando importantes aplicaciones en forma de imágenes. La característica principal de esta técnica es la elevada penetración a través de materiales industriales basados en acero, aluminio, zirconio, etc. Los neutrones son eficientemente absorbidos solo por unos pocos elementos ligeros como el hidrogeno, boro, cadmio, samario y gadolinio [1-3]. Por ejemplo, los materiales orgánicos o el agua atenúan fuertemente a los neutrones debido a su alto contenido de hidrogeno, mientras que muchas estructuras hechas con aluminio o acero resultan casi transparentes, muestra además una alta contrastación de materiales con similares densidades [1-5].

La neutrografía es una técnica similar a la

radiografía por rayos X o gamma y tiene algunas ventajas particulares en el campo nuclear, aeroespacial, en la industria de plásticos y látex, también ha sido adoptado como un método estándar para el estudio comparativo de absorción de agua en madera, polímeros y compositos madera-polímero donde se miden las variaciones de la densidad óptica de dichos materiales [6,7] entre otros.

Entre las aplicaciones típicas de la radiografía neutrónica podemos mencionar al análisis de combustibles nucleares, detección de materiales hidrogenados y orgánicos, detección de fallas en partes de maquinas, corrosión en componentes de aeronaves, control de calidad de materiales cerámicos, detección de drogas y materiales explosivos (útiles en la industria pirotécnica y de municiones), estudio de materiales arqueológicos, detección de películas lubricantes en sistemas de rodamiento así

---

\* Correspondencia autor: alopez@ipen.gob.pe

como procesos dinámicos de lubricación y combustión, entre otros. Debido a que la neutrografía permite alcanzar importante resolución de imagen (50 μm), ha hecho posible las neutrografías microscópicas, las que requieren del uso de microscopios de luz para la amplificación correspondiente de la imagen, resultados importantes han sido obtenidos en el estudio de cortes histológicos analizados con esta técnica [8,9].

Los neutrones al interactuar de manera diferente con la materia, ofrecen información complementaria a los observados con rayos X o gamma, al requerir de una fuente de neutrones, las aplicaciones se ven bastante limitadas y solo algunas instituciones como el IPEN tienen la capacidad de ofrecer esta facilidad neutrográfica al usuario.

**2. Parte Experimental**

El conducto de irradiación No. 4 del reactor RP-10 consta, en su primera parte, de un colimador cónico con sus paredes recubiertas de cadmio, este colimador va dentro de la piscina y puede ser desplazado en forma automática desde su posición normal que está a 50 cm hasta la posición de irradiación, movimiento que se hace por medio de un mecanismo de poleas.



**Figura 1.** Instalación de una cámara de ionización en la salida del haz de neutrones del RP-10 para la correspondiente prueba neutrográfica, delante se aprecia el atenuador de neutrones A.

La segunda parte del colimador consta de dos cilindros recubiertos de cadmio cuyo objetivo es absorber a los neutrones térmicos no colimados que salen de la base del colimador, al final de dichos cilindros se encuentra un obturador de plomo y cadmio que cubre la apertura del conducto y es controlado por un sistema neumático (flecha azul, figura 1). El blindaje al exterior del conducto está conformado por paredes de hormigón,

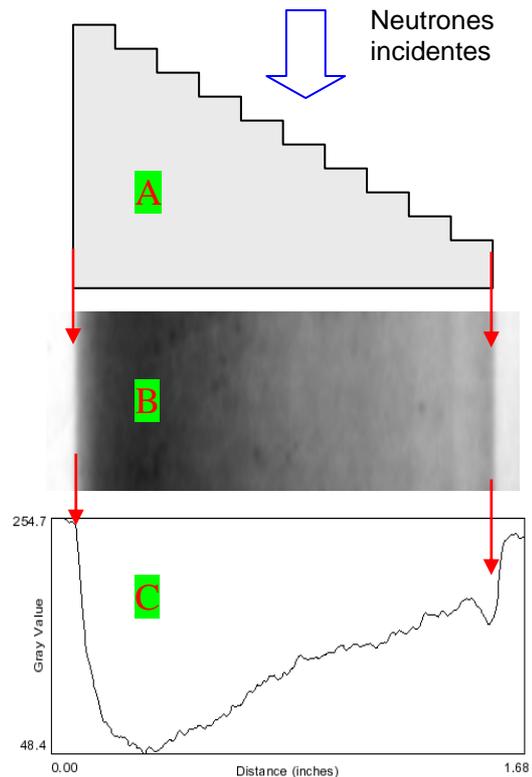
formando un recinto cerrado en cuyo interior se encuentra un atenuador de neutrones (A en figura 1). La potencia nominal de operación del RP-10 fue de 10 MW, con un flujo aproximado de 6x10<sup>6</sup> n/cm<sup>2</sup>s, el diámetro del haz neutrónico fue de 25 cm.

Algunos trabajos realizados hasta la fecha han consistido en la caracterización óptica del haz neutrónico del reactor RP-10, el análisis de fallas en cámaras de ionización, filtrado de la radiación gamma en las neutrografías, estudio de materiales orgánicos, estudio de la absorción neutrónica del agua, humedad en la madera, entre otros.

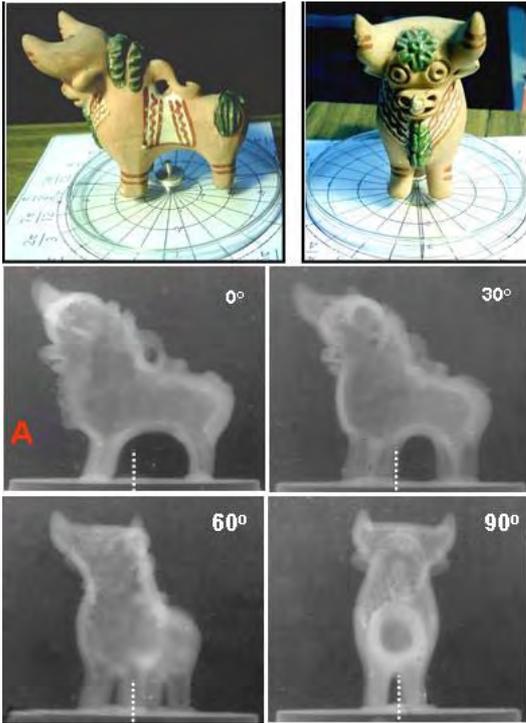
El análisis de la absorción óptica del plexiglás escalonado (figura 2) tiene un comportamiento de acuerdo a la ecuación:

$$D_{op} = A+B.exp(-CX).....(1)$$

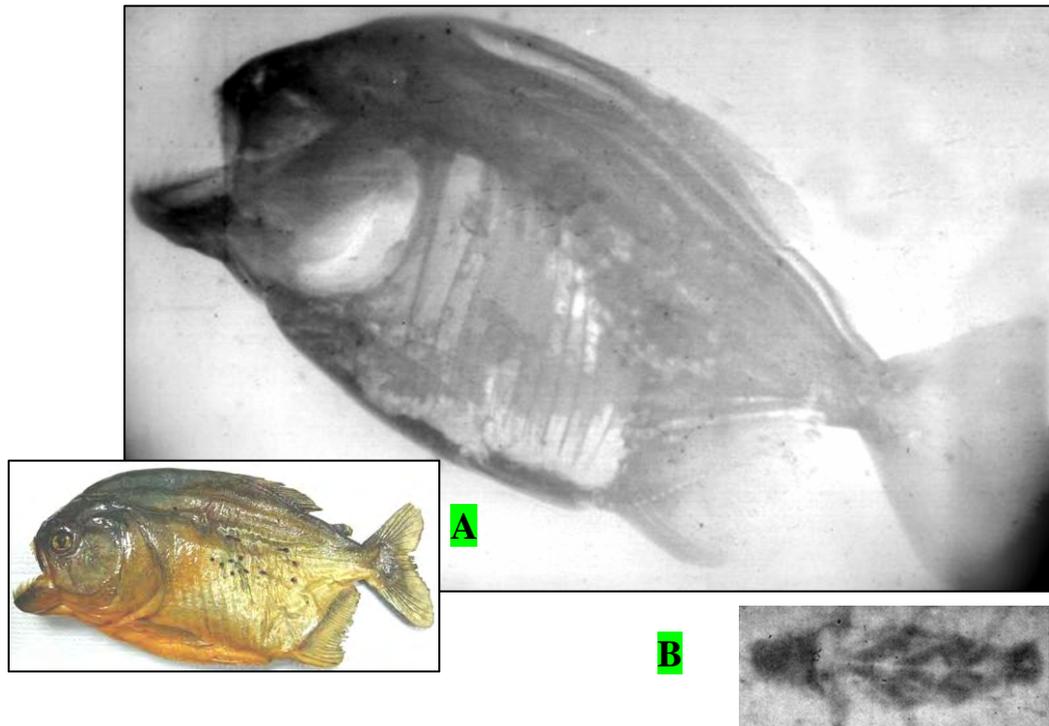
Donde A, B y C son constantes y X el espesor [9] adicionalmente se nota un efecto dispersivo.



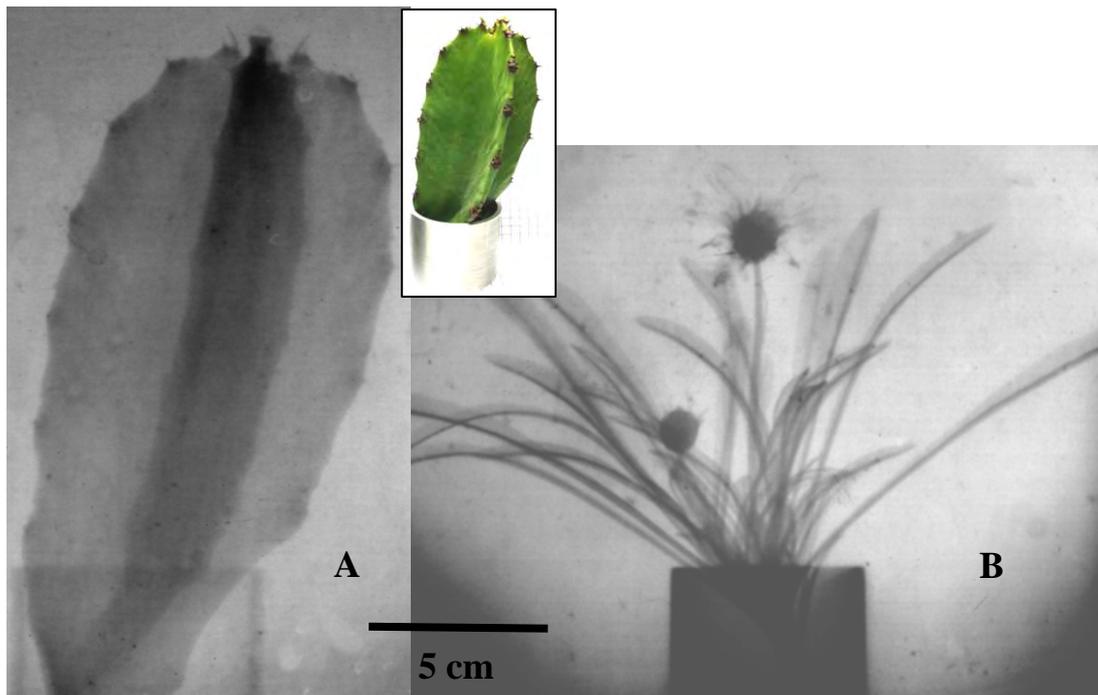
**Figura 2.** A) Escalones de plexiglás, B) Neutrografía y C) Variación de la densidad óptica en función del espesor de la muestra. Se observan los efectos de borde.



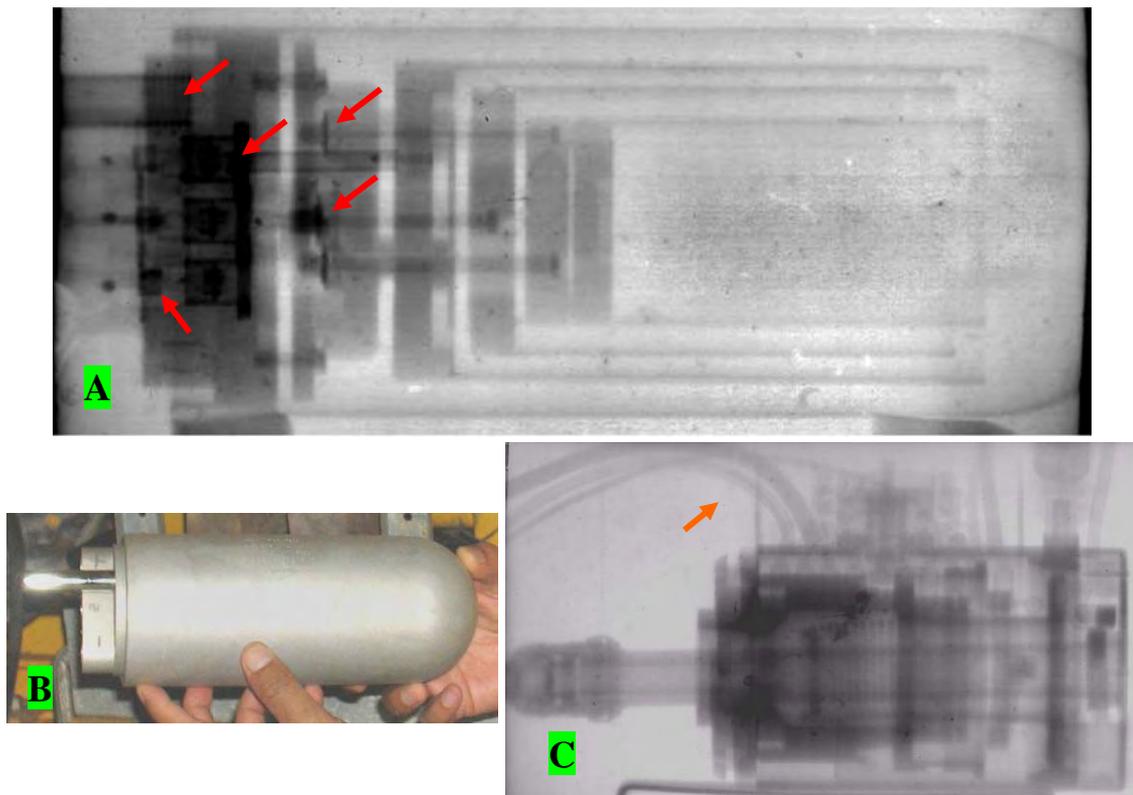
**Figura 3.** Arriba, Imágenes reales de un objeto cerámico. Abajo, neutrografías para estudios de reconstrucción tomográfica en diferentes posiciones de rotación.



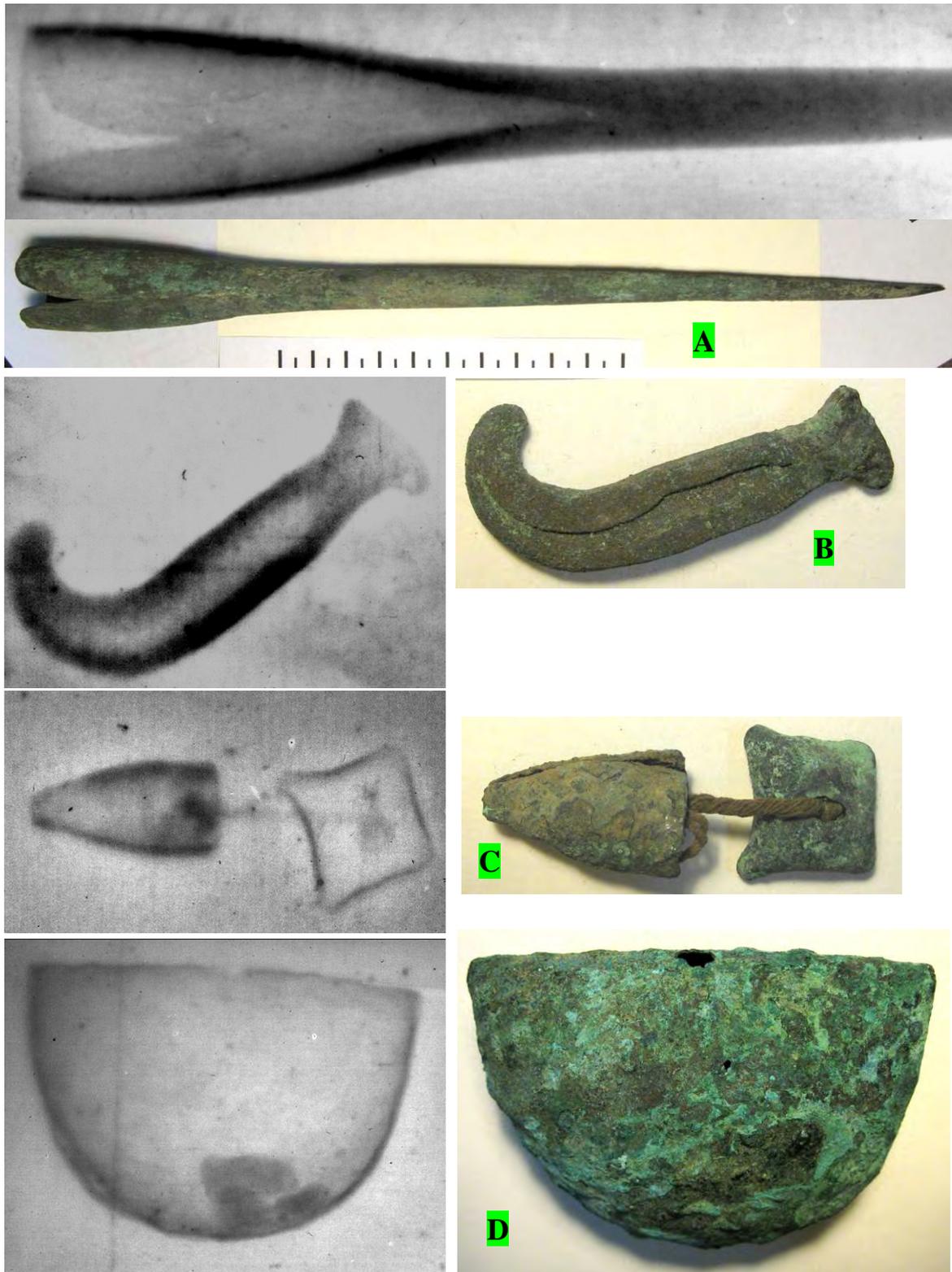
**Figura 4.** A) Imagen real y Neutrografía por transmisión de materiales orgánicos (Piraña disecada) existen muchos aspectos interesantes para ser investigados en la campo de la biología con la ayuda de los neutrones. B) Parte baja, neutrografía del tórax y cabeza de una cucaracha.



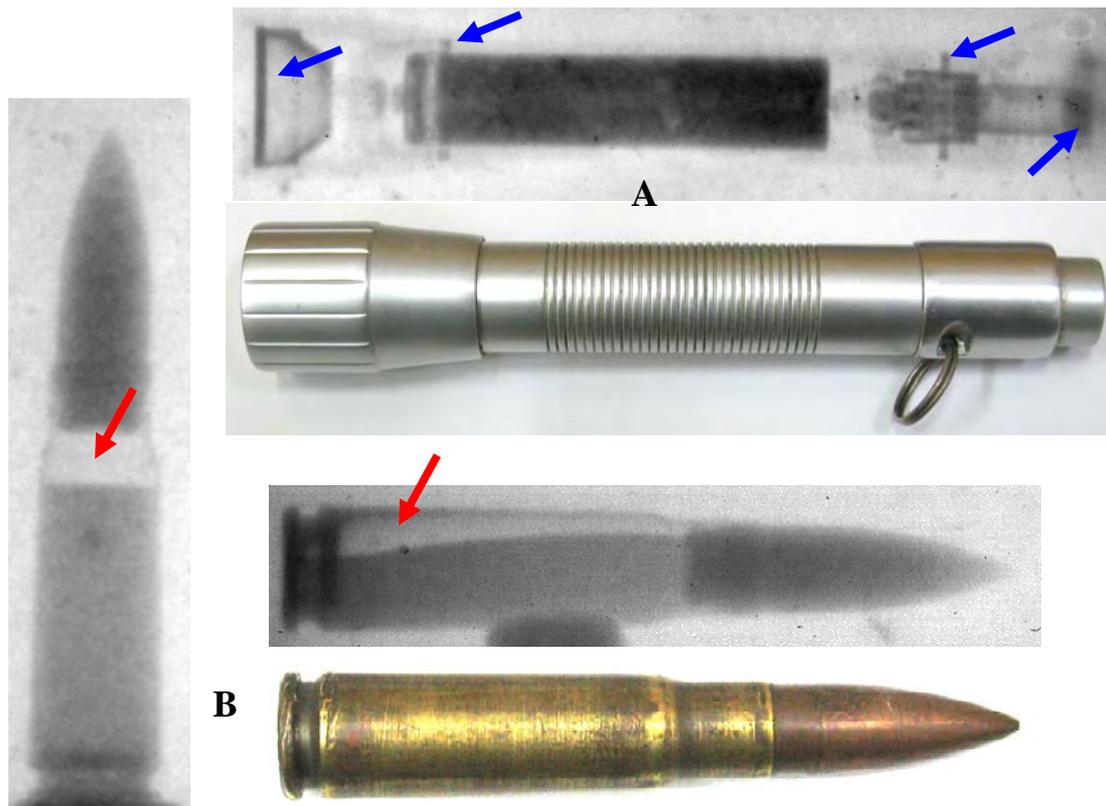
**Figura 5.** Neutrografía de materiales orgánicos correspondientes a plantas vivas A) Cactus y B) Planta con dos flores.



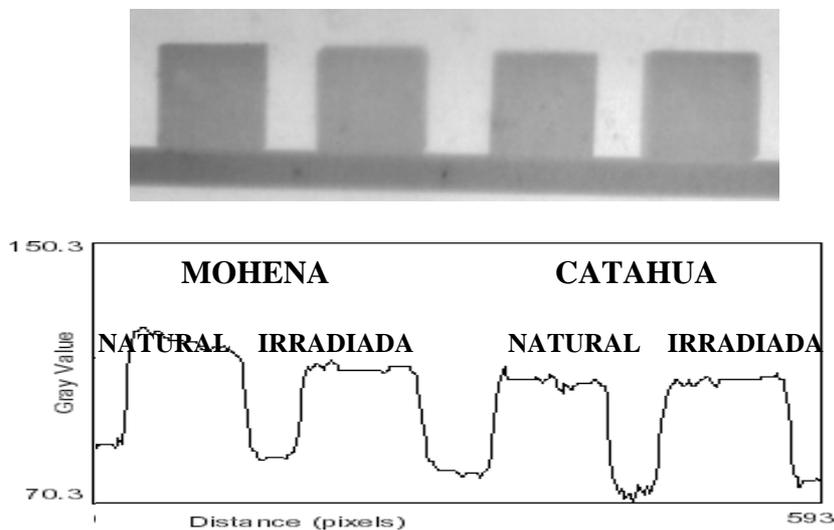
**Figura 6.** A) Neutrografía de una cámara de ionización mostrando en alto contraste los sellos aislantes en la base y en los porta electrodos (flechas rojas). B) Imagen real de dicha cámara y C) Neutrografía de un goniómetro de microscopio electrónico. Imágenes que demuestran las ventajas del método, donde las partes metálicas se ven muy transparentes mientras que pequeñas piezas aislantes o plásticas se notan muy resaltadas.



**Figura 7.** Neutrografías en tamaño natural y sus correspondientes imágenes reales de piezas arqueológicas metálicas correspondientes al período Intermedio Tardío (1000 – 1470 d. C.), su procedencia conocida es la costa norte del Perú. Como se puede apreciar, las piezas aún no han sido restauradas, motivo por el cual las neutrografías muestran con alto contraste las capas afectadas por la corrosión y en el caso D muestra la presencia de tres piedras al interior. A) Punta de 27 cm de long. B) Gancho. C) Campanilla y D) Chalchalcha o sonaja.



**Figura 8.** A) Imagen real y neutrografía de una linterna de inmersión acuática, al interior se observa la pila eléctrica conteniendo una pasta electrolítica, se indica con flechas azules los sellos de jebes. B) Imagen real y neutrográficas en posiciones vertical y horizontal de una bala donde se aprecia la forma de acomodación de la pólvora y el espacio vacío (flechas rojas).



**Figura 9.** Neutrográficas y espectros de absorción neutrónica de muestras de madera de la amazonía peruana (Mohena y Catahua) sometidas a pruebas de absorción de agua, las maderas se comparan con las que han sido polimerizadas con PVA e irradiadas con rayos gamma.

### 3. Resultados y Discusión

El estudio de las neutrográficas de materiales de diferente espesor sirve para correlacionar la absorción neutrónica con la variación de la densidad óptica, las neutrográficas de objetos

en posiciones rotadas sirven para su reconstrucción tomográfica. Los materiales orgánicos también tienen aplicación; por ejemplo, pueden estudiarse el crecimiento de raíces, distribución de nutrientes en el suelo, y en las plantas, detección de contaminantes

y venenos, así como estos, existen muchos aspectos interesantes para ser investigados en el campo de la biología con la ayuda de los neutrones.

La extrema penetración de los neutrones en los metales hace que las neutrografías tengan ventajas importantes, debido a que las partes metálicas se ven muy transparentes mientras que pequeñas piezas aislantes o plásticas se notan muy resaltadas. El estudio de piezas arqueológicas de nuestra herencia cultural es otro campo de aplicación importante y puede ayudar a la mejor interpretación del pasado y darle mayor valor agregado mejorando su impacto incluso turístico.

Otras aplicaciones de la neutrografía permiten obtener espectros de absorción neutrónica de muestras de madera sometidas a pruebas de absorción de agua, o localización de pólvora en el interior de las municiones. Las variadas aplicaciones de la neutrografía tendrán un futuro promisorio con el desarrollo de hardware y software para análisis de fases y estudios de procesos dinámicos.

#### 4. Conclusiones

Las pruebas neutrográficas realizadas en las instalaciones del reactor RP-10 del IPEN muestran la capacidad para realizar ensayos de inspección no destructivos usando los neutrones, lo que amplía la capacidad de análisis del reactor RP-10 a un ámbito muy variado como el estudio del agua en la tierra, distribución del agua de riego, nutrientes en las plantas, investigación de defectos al interior de muestras metalúrgicas, control de calidad de determinados productos, etc. Esta facilidad es ahora extendida a todos los investigadores nacionales y extranjeros (Universidades, institutos, industria, etc.) promoviendo tanto la enseñanza como la investigación.

Con la adquisición de imágenes en tiempo real, la técnica promete una mejora sensible en su uso. El sistema de neutrografía implementada se encuentra apto para su uso continuo.

#### 5. Agradecimientos

A la Arqueóloga Luisa Vetter por proporcionarnos las muestras arqueológicas metálicas.

#### 6. Bibliografía

- [1]. International Atomic Energy Agency. Neutron imaging: A non-destructive tool for materials testing. IAEA-TECDOC-1604. Vienna: IAEA; 2004.
- [2]. Shaikh AM. Development of neutron and x-ray detectors and neutron radiography at Barc. Barc Newsletter. 2006; 273:8-23.
- [3]. Wade JR, *et al.* Real-time neutron radiography applications for the automotive industry. UCD McClellan Nuclear Radiation Center (Univ. California, Davis); 2003.
- [4]. Ravello Y. Caracterización y puesta a punto de la facilidad de neutrografía del reactor nuclear RP-10. [Tesis Lic. en Ciencias mención Física]. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería; 2001.
- [5]. Munive M. Caracterización en energía de un haz de neutrones térmicos. [Tesis Lic. en Física]. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería; 2000.
- [6]. Nurul Islam MD. Development of electronic imaging system for real time neutron radiography at Triga MK-II research reactor of AERE, Savar Dhaka and utilization for research & industrial application. In: International Atomic Energy Agency. Neutron imaging: A non-destructive tool for materials testing. Vienna: IAEA; 2008. p. 45-52.
- [7]. Gago J, Munive M, López A, *et al.* Caracterización entre la densidad de maderas amazónicas peruanas mediante la atenuación de la radiación gamma y neutrónica. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2007. Lima: IPEN; 2008. p. 72-78.
- [8]. Pugliesi R, Andrade MLG, Pereira MAS, *et al.* New radiographic images from old neutron converter screens. In: International Atomic Energy Agency. Neutron imaging: A non-destructive tool for materials testing. Vienna: IAEA; 2008. p. 79-99.
- [9]. Dinca M. The implementation of a charge coupled device (CCD) camera in a neutron imaging system for real time and tomography investigations. In International Atomic Energy Agency. Neutron imaging: A non-destructive tool for materials testing. Vienna: IAEA; 2008. p. 53-69.

## Estudios por difracción de rayos X y espectroscopía Mossbauer de cerámicos de la cultura Nasca

Javier Alcalde<sup>1</sup>, Luisa Vetter<sup>2,3</sup>, Jorge Bravo<sup>4</sup>, Yezenia Yaupar<sup>4</sup>, Susana Petrick<sup>5</sup>, Alcides López<sup>5,6</sup>, Paula Olivera<sup>6</sup>, Julio Santiago<sup>6,7,\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela S/N, Lima 1, Perú

<sup>2</sup> Museo Nacional Sicán, Av. Batán Grande Cdra. 9, S/N. Carretera Pítipo – Ferreñafe, Lambayeque, Perú

<sup>3</sup> Instituto Riva Agüero, Pontificia Universidad Católica del Perú, Jr. Camaná 459, Lima 1, Perú

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela S/N, Lima 1, Perú

<sup>5</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru, Lima 25, Perú

<sup>6</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>7</sup> Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela S/N, Lima 1, Perú

### Resumen

Se ha estudiado un conjunto de fragmentos de cerámica de la cultura Nasca (Ica - Perú) por difracción de rayos X y espectroscopía Mossbauer para obtener información sobre la tecnología utilizada en la preparación de los mismos. Los resultados sugieren que la temperatura de cocción de los ceramios Nasca estuvo entre 700 °C y 900 °C. Debido a que los fragmentos estudiados provienen de un museo, y no de excavaciones, se aplicó termoluminiscencia y luminiscencia ópticamente estimulada para verificar la autenticidad de las piezas.

### Abstract

We have studied a set of ceramic fragments from Nasca culture (Ica - Peru) by X-ray diffraction and Mossbauer spectroscopy to obtain information on the technology used in their preparation. The results suggest that the firing temperature of Nasca pottery was between 700 °C and 900 °C. Because the studied fragments comes from a museum, and not from excavation, thermoluminescence and optical stimulated luminescence was applied to verify the authenticity of the pieces.

### 1. Introducción

La cultura Nasca se desarrolló a 49 km de la actual ciudad de Nazca, 500 km al sur de Lima, sobre la cuenca del río Grande, entre los años 100 A.C. y 750 D.C. Es particularmente conocida por los grandes geoglifos, líneas de Nazca, encontrados en las pampas de Nazca [1]. Los principales sitios arqueológicos se encuentran en Cahuachi, centro religioso, Marcaya y Los Molinos [2,3]. La cerámica producida por los alfareros de la cultura Nasca se caracterizó por el policromismo y su buen acabado.

Se han realizado esfuerzos para conocer la composición elemental de la pasta de los ceramios Nasca, por análisis por activación neutrónica [4] y espectrometría de masas de plasma inductivamente acoplado [5], para

encontrar evidencias analítica sobre los sitios de producción de los mismos y posibles rutas de comercio.

Para obtener información sobre la tecnología de preparación, y específicamente sobre la temperatura de cocción de los cerámicos es necesario determinar la composición mineralógica de la pasta, ya sea por difracción de rayos X (DRX) o por microscopía electrónica de transmisión (MET) en su forma de difracción de electrones de áreas selectas (DEAS). Así, basándonos en la presencia o alteración de determinados minerales de los que se conocen las temperaturas a las cuales desaparecen o se transforman, es posible hacer un estimado de la temperatura máxima

---

\* Correspondencia autor: jsantiago@ipen.gob.pe

alcanzada por la pasta durante la cocción.

Por otro lado, el estudio de arcillas y cerámicos por Espectroscopía Mössbauer (EM) permite obtener información del entorno químico del isótopo  $^{57}\text{Fe}$  presente. Cada mineral que contiene hierro, ya sea como catión principal o por sustitución, está caracterizado por un conjunto de parámetros hiperfinos que pueden dar información sobre su presencia, y las áreas de absorción resonante asociadas a dichos sitios dan información sobre sus abundancias en la pasta de estudio. Es decir, en el espectro Mössbauer se puede evidenciar las variaciones de la vecindad química de los isótopos, la misma que se puede alterar mediante calentamiento.

El método para determinar la temperatura de cocción de cerámicos por EM se basa en medir el espectro Mössbauer de una muestra de cerámica en polvo luego de someterla a tratamientos térmicos a diferentes temperaturas. Las características de los espectros obtenidos serán similares para los casos en los que no se superó la temperatura de cocción ( $T_c$ ) original. Pero, teóricamente, a temperaturas mayores a la  $T_c$  el entorno de los núcleos de  $^{57}\text{Fe}$  se modifica produciendo espectros Mössbauer diferentes [6-8].

En este trabajo presentamos los resultados obtenidos del estudio de 10 fragmentos de cerámicos de la cultura Nasca, aplicando DRX, MET y EM para obtener información sobre la temperatura de cocción de las mismas.

Debido a que las muestras estudiadas provenían del Museo de Arqueología y Antropología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, y no de una excavación, se realizaron pruebas dosimétricas por termoluminiscencia y luminiscencia ópticamente estimulada, para determinar su autenticidad. La emisión de luz por el material, estimulado térmicamente (TL) u ópticamente (OSL), se produce con posterioridad a la absorción de energía proveniente del fondo radioactivo del ambiente en el que el material estuvo inmerso. Si la intensidad de la emisión de luz es proporcional a la energía absorbida y al tiempo transcurrido desde que el material se calentó por última vez, es posible determinar si una muestra es antigua o “moderna” a través de las pruebas

de TL u OSL [7,9].

## 2. Experimental

Las muestras estudiadas fueron cedidas por el museo de Arqueología y Antropología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en forma de fragmentos de vasijas cerámicas (antiguamente restauradas). Estos fragmentos fueron separados por el personal del museo utilizando alcohol o acetona y fueron colocados en bolsas de polietileno con sus respectivas etiquetas. Para la obtención de las muestras de pastas, se retiraron las capas de pigmentos y engobes de los fragmentos con la ayuda de un taladro con brocas de carburo de tungsteno y una fresa de acero.

### 2.1 Termoluminiscencia

Para obtener las muestras se utilizó un taladro de baja velocidad con una broca diamantada. Las muestras fueron taladradas hasta una profundidad de 2 mm, antes de obtener el material para dosimetría. El equipo utilizado en los registros de TL y OSL es una lectora de Risø National Laboratories, modelo TL-DA-15, con una fuente IR de 875 nm y una fuente de luz azul de 470 nm. Este equipo también está provisto de una fuente de radiación beta (135,5 mGy/s) para las irradiaciones de laboratorio necesarias en la calibración de la dosis acumulada. Los datos fueron obtenidos y analizados según el protocolo Single Aliquot Regeneration (SAR) [10,11].

### 2.2 Difracción de rayos X

Para facilitar la pulverización de las piezas, se las sumergió individualmente en un vaso de precipitación con nitrógeno líquido por espacio de 5 minutos, luego con unas pinzas se colocó la muestra en un mortero de porcelana y se procedió a la homogenización del grano con un pilón del mismo material. La muestra ya pulverizada fue colocada en frascos de vidrio con tapa y puestos a secar en una estufa por espacio de 24 horas.

### 2.3 Espectroscopía Mossbauer

Para el análisis por EM se utilizó 250 mg del mismo material en polvo preparado para DRX. Se utilizaron dos espectrómetros convencionales, uno de 512 canales y modalidad de aceleración constante, y otro de 1024 canales en la modalidad de velocidad

sinusoidal, utilizando una geometría de transmisión. El criterio de selección de las muestras se basó en el mayor contenido de hematita cristalizada, que puede estar asociado a una temperatura de cocción más elevada y a una atmósfera oxidante.

Para el tratamiento térmico se utilizó una atmósfera oxidante y un rango de temperatura de 300 a 1000 °C. En cada caso, la alícuota de la muestra fue sometida a tratamiento térmico durante 12 h y los espectros Mössbauer se acumularon con la alícuota a temperatura ambiente. Para cada temperatura se utilizó alícuotas diferentes.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1 Pruebas de autenticidad por dosimetría termoluminiscencia

Las piezas de cerámica que están guardadas en los museos no pueden ser datadas de manera confiable aplicando las técnicas dosimétricas basadas en medidas de intensidad de sus señales de TL y OSL; sin embargo, es usual aplicar las técnicas de dosimetría TL y OSL para determinar su autenticidad haciendo un estimado grueso de su antigüedad.

**Tabla 1.** Dosis “arqueológica” calculada en los fragmentos de cerámicos Nasca.

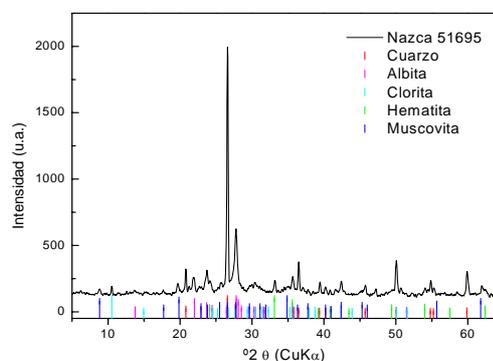
Muestras	Dosis (mGy)
Nasca II 5204	7723,50
Nasca III 5169	7859,08
Nasca III 3794	8441,73
Nasca IV 5209	4376,65
Nasca V 2109	4159,85
Nasca VII 2147	6246,61
Nasca VIII 2582	4173,44

Los valores obtenidos a partir de las curvas de OSL obtenidas por estimulación de las muestras con luz azul son proporcionales a la dosis arqueológica calculada por interpolación de la señal natural. Los resultados obtenidos se muestran resumidos en la Tabla 1. Los resultados muestran que las dosis acumuladas calculadas varían mucho, lo cual no debe sorprender puesto que las muestras provienen de un rango de tiempo de 800 años. Sin embargo, notamos que la dosis “arqueológica” tiende a disminuir conforme aumenta la fase de evolución de esta cultura, es decir de la más antigua a la más moderna. Entre las muestras analizadas se colocaron 3

muestras “modernas”, las que no dieron ninguna señal residual de luminiscencia. Esto prueba que la metodología utilizada funciona bien para diferenciar muestras originales de las muestras de manufactura reciente.

#### 3.2 Estudio por difracción de rayos X

En la Figura 1 se muestra uno de los difractogramas obtenidos de tres muestras seleccionadas por poseer características contrastantes, relativas a su color y su composición mineralógica. La muestra 2385 es de color grisáceo y contiene hematita en menor concentración que las otras dos muestras, que presentan color rojizo anaranjado. La Tabla 2 muestra los resultados del análisis por DRX. Como se puede apreciar todas estas muestras contienen cuarzo en alto porcentaje y en menor concentración albita, muscovita, micas y hematita. La presencia de clorita indica que la temperatura de cocción original no superó los 650°C en el caso de la muestra 5169 [12,13]. Por MET-DEAS, en un estudio anterior, se observaron muchos compuestos presentes en estas muestras. Específicamente, la presencia de Illita en todas las muestras analizadas sugiere que en el proceso de cocido de dichas cerámicas no se alcanzaron los 800 °C, porque a esta temperatura la illita cambia de fase [14,15]. La aparente discrepancia entre los minerales observados por DRX y MET puede explicarse por el hecho de que en la técnica aplicada (MET-DEAS) se analizan zonas muy pequeñas, especialmente aquellas zonas que presentan buena cristalización, mientras que por DRX se obtienen todos los minerales presentes y muchas veces los que se encuentran en pequeñas proporciones son encubiertos por aquellos que son mayoritarios.



**Figura 1.** Difractograma de Rayos X de la muestra Nasca 5169.

De otro lado, cuando los artefactos cerámicos se cuecen en hornos artesanales la temperatura que se alcanza es bastante variable, pudiendo encontrarse diferencias hasta de más de 250 °C en un solo proceso, haciendo que no todos los artefactos tengan las mismas condiciones de cocción ni los mismos resultados [16].

**Tabla 2.** Resultados de los análisis por Difracción de rayos X de las muestras Nasca.

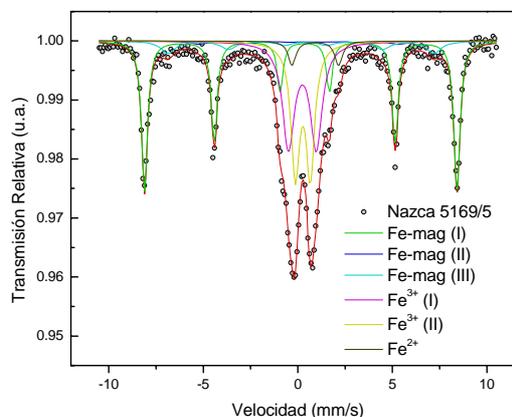
Período	Muestras	Color	Minerales Identificados
Nazca III	5169	Naranja /rojo	Cuarzo
			Albita
			Hematita
			Muscovita
			Clorita
Nazca IV	2385	Gris	Cuarzo
			Albita
			Muscovita
Nazca V	2461	Naranja claro	Cuarzo
			Albita
			Hematita
			Mica

### 3.3 Estudio por espectroscopía Mossbauer

La figura 2 presenta el espectro Mössbauer de la muestra 5169 como representativo de los espectros obtenidos. Todos los espectros muestran curvas que han sido desdobladas en seis curvas individuales utilizando el software PCMOS, tres de estas curvas presentan dobletes y las otras tres están constituidas de sextupletes magnéticamente desdoblados. Este mismo software calcula la contribución individual de las diferentes especies de hierro (Fe(II), Fe(III), y fases magnéticas), encontrándose una contribución mayor de Fe(II) en las muestras de color oscuro, lo que sugiere que esta cerámica fue confeccionada en una atmósfera reductora. El ancho exagerado de los sextetos observados está asociado a fases amorfas, lo que implicaría que la temperatura que se alcanzó en la cocción no fue ni lo suficientemente alta ni lo suficientemente prolongada para alcanzar buena cristalización.

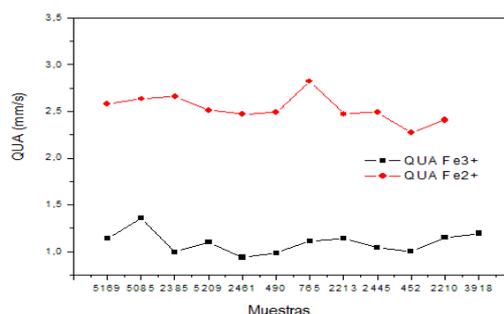
A partir de las curvas individuales utilizadas en el ajuste se pudo determinar el desdoblamiento cuadrupolar promedio para

los sitios ocupados por Fe(III) y Fe(II) en estado paramagnético para cada una de las muestras, figura 3. Es importante notar que por EM se observó la presencia de hematita en todas las muestras estudiadas mientras que por DRX no se observó este mineral en la muestra 2385.

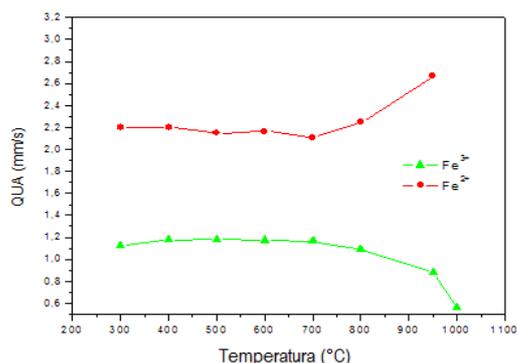


**Figura 2.** Espectro Mossbauer de la muestra Nasca 5169 a temperatura ambiente.

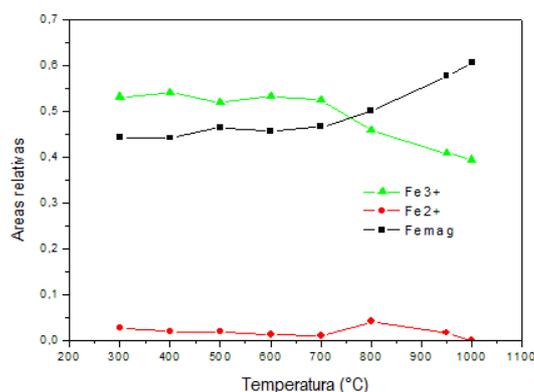
La muestra 5169 fue seleccionada para un tratamiento térmico en atmósfera oxidante a temperaturas de 300 °C a 1000 °C, con intervalos de 50 °C, 100 °C y 150 °C, con el objetivo de medir la variación con la temperatura de cocción de los parámetros hiperfinos. Esta muestra fue seleccionada por cumplir con dos criterios: i) por su mayor contenido de hematita bien cristalizada, que puede ser consecuencia de una mayor temperatura de cocción original, y ii) por contar con la cantidad de muestra requerida para realizar los procesos de recocido. Para este fin, las muestras fueron sometidas a tratamientos térmicos durante intervalos de 12 h, en cada rango de temperatura. Los espectros fueron tomados a temperatura ambiente (TA), obteniéndose por ajuste el desdoblamiento cuadrupolar de los sitios paramagnéticos, que luego se tabuló y graficó en función de la temperatura de calentamiento.



**Figura 3.** Desdoblamiento cuadrupolar de los sitios paramagnéticos en las muestras.



**Figura 4.** Variación del desdoblamiento cuadrupolar de los sitios paramagnéticos en función de la temperatura para la muestra 5169.



**Figura 5.** Variación de la ocupación de los sitios de Fe en función de la temperatura para la muestra 5169.

De la figura 4, sobre la base de la variación del desdoblamiento cuadrupolar de los sitios de Fe(III), en el caso de la muestra 5169 se puede observar que a partir de 700 °C se inicia una tendencia a la disminución del valor del desdoblamiento cuadrupolar. En la figura 5 se observa un incremento en la proporción de sitios ocupados por Fe(III) en estado magnético a partir de 700 °C. También se observa un aumento en el desdoblamiento cuadrupolar del sitio de Fe(II), lo cual estaría relacionado con el colapso de las estructuras que soportan los cationes ferrosos. Este resultado parece indicar que la temperatura de cocción original para esta muestra fue próxima a 700 °C. A partir de 800 °C se nota una redistribución de los cationes Fe(III) magnéticos entre los tres sextetos, lo cual parece indicar que el mineral asociado a este sexteto es el más estable a mayores temperaturas. A 1000 °C, para ajustar el espectro, solo fue necesario utilizar dos dobletes, asociados a Fe(III), y dos sextetos,

debido a que ya no se observa material en estado amorfo o pobremente cristalizado.

La presencia de varias fases de hematita, que se manifiestan por la necesidad de utilizar de 2 a 4 sextetos para ajustar la componente magnética de los espectros Mössbauer de las muestras estudiadas puede estar relacionada con el tratamiento térmico al que fueron sometidas estas muestras durante su cocción.

#### 4. Conclusiones

Se confirmó la autenticidad de las muestras cedidas por el Museo de Arqueología y Antropología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Esta confirmación, realizada por termoluminiscencia y luminiscencia ópticamente estimulada fue necesaria como paso previo a las otras pruebas que se realizaron, debido a que por la belleza de la cerámica producida por los alfareros nasca ha sido objeto de copia o falsificación desde tiempos coloniales.

La DRX y la MET en su forma DEAS, permitieron identificar la mayoría de los componentes de las pastas de los fragmentos de cerámicos estudiados. La presencia de algunas arcillas, observadas e identificadas por DRX, indicaría que ninguna de las muestras alcanzó temperaturas mayores a 900 °C durante su elaboración.

En todas las muestras se determinó la presencia de Illita, lo que sugiere que durante la cocción estas pastas no superaron los 800 °C por tiempos suficientemente prolongados. Los resultados hallados por espectroscopia Mössbauer sugieren igualmente que la temperatura de cocción original de la cerámica 5169 fue próxima a los 700 °C.

#### 5. Agradecimientos

Al Museo de Arqueología y Antropología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por ceder los fragmentos de cerámicos de la cultura Nasca y al Organismo Internacional de Energía Atómica por el financiamiento parcial de este trabajo, a través de los proyectos CRP 13058 y ARCAL RLA8043.

#### 6. Bibliografía

[1] Vaughn K, Van Gijsegem H. A compositional perspective on the origins of the "Nasca cult" at Cahuachi. Journal of

- Archaeological Science. 2007; 34:814-822.
- [2] Silverman H, Cahuachi in the Ancient Nasca World. Iowa: University of Iowa Press; 1993.
- [3] Reindel M, Isla J. Los Molinos y La Muña. Dos centros administrativos de la cultura Nasca en Palpa, costa sur del Perú. Sonderdruck aus Beiträge zur Allgemeinen und Vergleichenden Archaeologie. 2001; 21:289-319.
- [4] Vaughn K, Neff H. Moving beyond iconography: Neutron activation analysis of ceramics from Marcaya, Peru, an early Nasca domestic site. Journal of Field Archaeology. 2000; 27(1):75-90.
- [5] Vaughn K, Conlee C, Neff H, Schreiber K. A compositional analysis of Nasca pigments: implications for craft production on the prehispanic south coast of Peru. En: Laser Ablation-ICPMS in Archaeological Research, R. Speakman, H. Neff (editors). Albuquerque: University of New Mexico Press; 2005.
- [6] Wagner F, Kyek A. Mössbauer Spectroscopy in Archaeology: Introduction and Experimental Considerations. Hyperfine Interactions. 2004; 154(1-4):5-33.
- [7] Vetter L, Petrick S, Huaypar Y, Mac Kay M. Los hornos metalúrgicos del sitio Inca de Curamba (Perú): estudio por DRX, espectroscopia Mössbauer y datación por métodos de luminiscencia. Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines. 2008; 37 (3):451-475.
- [8] Venkatachalapathy R, Sridharan T, Dhanapandian S, Manoharan C. Determination of firing temperature of ancient potteries by means of infrared and Mossbauer studies. Spectroscopy Letters. 2002; 35(6):769-779.
- [9] Santana G. La datación por termoluminiscencia en los materiales cerámicos prehistóricos de Gran Canaria. Vector Plus. 2000; 16: 47-55.
- [10] Bøtter-Jensen L, McKeever S, Wintle A. Optically Stimulated Luminescence Dosimetry. Amsterdam: Elsevier Science; 2003.
- [11] Takano M, Yawata T, Hahimoto T. Luminescence dosimetry of archaeological and ceramic samples using a single-aliquot regenerative-dose method. Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry. 2003; 255(2):365-368.
- [12] Jordán M, Sanfeliú T, De la Fuente C. Firing transformations of tertiary clays used in the manufacturing of ceramic tile bodies. Applied Clay Science. 2001; 20:87-95.
- [13] Gallart M, Mata M. Análisis mineralógico de las cerámicas, Bolskan. Revista de Arqueología del Instituto de Estudios Altoaragoneses. 1995; 12:171-180.
- [14] Maggeti M, Rossmannith. Archaeometry of kaolinitic clays. Revue d'archaeometry. III, suppl. 1981; 185-194.
- [15] López A, Santiago J. Estudio fractográfico y microcristalino de la pasta de la cerámica Nasca. Revista de la Sociedad Química del Perú. 2008; 4(1):24-29.
- [16] Salazar J, Vreeland J. Medida de las temperaturas de un horno artesanal de Mórrope, departamento de Lambayeque, utilizado para la fabricación tradicional de alfarería. Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines. 1993; 22:685-699.

## Caracterización química de la cerámica arqueológica de Cotahuasi mediante análisis por activación neutrónica

Patricia Bedregal\*, Pablo Mendoza, Marco Ubillús, Eduardo Montoya  
Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470 Lima 41, Perú

### Resumen

Se ha determinado las concentraciones de As, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Na, Rb, Sb, Sc, Sm, Th, Yb, en 121 fragmentos de cerámicos arqueológicos encontrados en el valle de Cotahuasi, mediante análisis por activación neutrónica instrumental, según el método *k-subcero*. Se ha comparado los resultados con la composición química elemental de la cerámica Tiwanaku y la cerámica Wari de Ayacucho y Cusco, encontrándose que los grupos de Ayacucho, Cotahuasi, Cusco y Tiwanaku se encuentran separados en el espacio composicional. El análisis estadístico multivariado, indica que la cerámica de estilo Wari encontrada en Cotahuasi es de fabricación local, mientras que una parte de la cerámica Inca, encontrada en Cotahuasi habría sido importada de Cusco.

### Abstract

The concentrations of As, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Na, Rb, Sb, Sc, Sm, Th, Yb, in 121 archaeological pottery fragments found in Cotahuasi Valley, have been determined by  $k_0$  – based INAA. The results have been compared against the chemical composition of the archaeological pottery from Tiwanaku, Wari – Ayacucho and Wari – Cusco. It had been found that these groups are well separated in the compositional space. Multivariate statistical analysis indicates that the Wari style pottery found in Cotahuasi had been made locally, while a fraction of the Inca style pottery could be imported from Cusco.

### 1. Introducción

El análisis por activación neutrónica instrumental (AANI) juega un rol importante en la caracterización química de la cerámica arqueológica. Su aplicación en arqueología data del año 1957 con los trabajos pioneros de Sayre y otros [1,2]. Desde aquella época se han realizado varios refinamientos tecnológicos en cuanto a avances en la instrumentación, que han abierto el camino a una aplicación productiva y accesible del AANI en investigaciones arqueológicas. Los esfuerzos de investigadores como Rands y Bishop, *et al.* que trabajaron conjuntamente con químicos analíticos demostraron la relevancia de los datos obtenidos de los análisis para problemas arqueológicos específicos y ayudaron a establecer el AANI como una parte integral importante del grupo de técnicas utilizadas en arqueología [3].

Desde mediados de los años 70 el AAN ha sido la técnica preferida para resolver preguntas arqueológicas relacionadas a procedencia y uso de la materia prima, así como al comercio e intercambio de las cerámicas [4]. Los resultados obtenidos de la caracterización, permiten a los arqueólogos

resolver preguntas respecto a la ubicación de áreas de producción prehistórica, la identificación de rutas de comercio e intercambio de materias primas y artefactos arqueológicos, así como determinar el origen de piezas individuales, encontradas en sitios lejanos [5].

En cuanto a la cerámica del valle de Cotahuasi, nos hacemos las siguientes preguntas: ¿Es la cerámica químicamente diferente a la de otras regiones? ¿Es local o importada? ¿Cuál es su procedencia? El AANI brinda la posibilidad de resolver estas preguntas mediante la determinación cuantitativa de elementos como arsénico, hierro, lantano, cromo, cerio, cesio, bario, escandio, rubidio, cobalto, samario, etc., permitiendo describir la pasta cerámica y hacer inferencias de carácter social o económico.

La técnica de AANI, consiste en la irradiación de una muestra con neutrones para hacerla radioactiva y la medición de los rayos gamma emitidos por dicha muestra radiactiva, para identificar y cuantificar los diferentes elementos presentes. Esta técnica

---

\* Correspondencia autor: pbedregal@ipen.gob.pe

tiene algunas ventajas sobre otras de caracterización de cerámica arqueológica, tales como: a) está libre de interferencias por efectos de matriz, b) presenta una alta sensibilidad permitiendo analizar elementos a nivel de trazas, c) mínima manipulación de la muestra antes de la irradiación, reduciendo el riesgo de contaminación y pérdida de muestra, y 4) se la puede aplicar sin necesidad de disolver la muestra. El método del *k-subcero* [6, 7], a diferencia del método comparativo, utiliza un solo comparador, simplificando el proceso de análisis.

En este artículo se presentan los resultados del análisis de 121 muestras de cerámicos, provenientes del valle de Cotahuasi y se comparan con la composición química elemental de la cerámica Tiwanaku y la cerámica Wari de Ayacucho y Cusco.

## 2. Parte experimental

**Procesamiento de las muestras:** Se limpió la superficie de las zonas seleccionadas en cada fragmento cerámico y con un taladro con broca de carburo de tungsteno se hicieron incisiones en dichas zonas, extrayendo y recolectado el polvo en papel de pesada. En los casos en que se pudo disponer del fragmento, se colocó una porción del mismo en un recipiente conteniendo nitrógeno líquido, con la finalidad de fragilizarlo y facilitar su molienda en un mortero de ágata.

La cantidad de muestra extraída en forma de polvo, fue colocada en frascos limpios de vidrio, puesta a secar en una estufa calibrada a 105°C por 24 horas y luego homogenizada. Para el análisis, se pesaron aproximadamente 250 mg del polvo cerámico seco en viales de polietileno rotulados y luego se sellaron. Se utilizaron como comparadores, láminas de zinc en forma de discos de 0.010 gramos de masa y 6 mm de diámetro [8].

**Irradiación y Medición:** Los comparadores se insertaron entre las muestras colocadas apiladas en una cápsula para irradiación de polietileno, la que se envió a la posición B-1 de la grilla del núcleo del reactor RP-10 para ser irradiada por 30 minutos a 10 MW de potencia, con un flujo nominal de neutrones térmicos de  $1.9 \cdot 10^{13} \text{ n-cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  y un flujo de neutrones epitérmicos de  $3.2 \cdot 10^{11} \text{ n-cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Después de 5 días de decaimiento se realizó una primera medición por 5000 – 6000

segundos utilizando un detector de Germanio hiperpuro GeHP (Canberra GC 1518; eficiencia relativa = 15%, FWHM = 1.8 keV en el pico 1332.5 keV  $^{60}\text{Co}$ ). Los comparadores se midieron por 1000 segundos después de 6 días de decaimiento. Estas mediciones se hicieron a 58.2 mm de distancia del detector, determinándose los siguientes nucleidos:  $^{76}\text{As}$ ,  $^{42}\text{K}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{239}\text{Np}$ ,  $^{122}\text{Sb}$ ,  $^{153}\text{Sm}$  e  $^{175}\text{Yb}$ . Después de 15-17 días de decaimiento se realizó una segunda medición por 10000 segundos, utilizando un detector GeHP (Canberra GC 7019; eficiencia relativa = 70%, FWHM = 1.9 keV en el pico de 1332.5 keV  $^{60}\text{Co}$ ). Los comparadores se midieron por 600 segundos, después de 10 días de decaimiento. En este caso la distancia del detector fue de 12.5 mm. Los nucleidos determinados fueron  $^{131}\text{Ba}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{181}\text{Hf}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{147}\text{Nd}$ ,  $^{86}\text{Rb}$ ,  $^{46}\text{Sc}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{182}\text{Ta}$ ,  $^{160}\text{Tb}$  y  $^{233}\text{Pa}$ . El análisis de los espectros se realizó utilizando el programa Genie 2000 (v 2.1) de Canberra y para el cálculo de las concentraciones de los elementos se utilizó un programa desarrollado en el laboratorio, escrito en Visual Basic.

**Aseguramiento de la calidad de los resultados:** Cada muestra se analizó por duplicado. Cada 12 muestras problema, se analizó una réplica del material de referencia New Ohio Red Clay, empleando el mismo procedimiento [3,9].

**Análisis estadístico:** Los resultados analíticos, expresados en unidades logarítmicas, se procesaron mediante los métodos estadísticos de clasificación jerárquica, extracción de componentes principales y clasificación de especímenes usando la distancia de Mahalanobis. Después de una etapa de análisis preliminares, se seleccionaron los elementos: Ce, Cr, Fe, Hf, La, Sc, Sm, Th. La razón de la selección fue que este conjunto de elementos produjo un juego de componentes principales, linealmente independientes, tal que los tres primeros lograron describir el 88 % de la varianza observada en los datos. Los grupos de cerámica Tiwanaku y cerámica Wari de Ayacucho y Cusco, que se usaron como grupos de referencia, se tomaron de un trabajo anterior [10].

### 3. Resultados y discusión

El aseguramiento de la calidad de los datos analíticos es una condición ineludible a la elaboración de inferencias arqueológicas a partir de dichos datos. En la tabla 1 se muestra los resultados obtenidos en el presente trabajo y los reportados por Kuleff *et al.* [9], Bishop [3] y Sharrat *et al.* [11] para el material de referencia New Ohio Red Clay.

En la tabla 1 se puede observar que los resultados obtenidos por nuestro laboratorio concuerdan satisfactoriamente con los de las referencias [3,9]. Esto confirma la validez del método de *k-subcero*, ya que los resultados de las referencias [3,9] fueron obtenidos mediante el método tradicional de AANI. También pueden observarse, para algunos elementos, diferencias notables entre los resultados de AANI y los de ICP- Laser Ablation.

Los resultados de la composición química elemental típica, de los grupos de referencia de la cerámica arqueológica de los sitios de Cotahuasi, Ayacucho (Wari), Cusco (Wari) y Tiwanaku se muestran en la tabla 2, para los

elementos determinados. Para la zona de Cusco se encontró tres grupos de referencia, de diferente composición química. Dado que en todos los casos se empleó el material de referencia New Ohio Red Clay, para el aseguramiento de la calidad de los resultados analíticos, se pudo verificar la consistencia de los datos obtenidos entre 1995 y 1999, para los grupos de referencia [10] y los obtenidos en el año 2008, para las muestras estudiadas en este trabajo.

Es útil comparar la composición de la cerámica Wari de Ayacucho con los datos de AANI que aparecen en la tabla II del artículo de Dussubieux *et al.* [12]. Esta comparación se presenta en la tabla 3 y es notorio el parecido químico entre los grupos representados en las dos primeras columnas de datos. De la tabla 3, se puede inferir que, para los elementos determinados en el presente trabajo, el grupo Wari 1 de la referencia [12] correspondería a la cerámica de Conchopata. Este hallazgo constituye evidencia adicional de la adecuada exactitud de los datos analíticos reportados en este trabajo.

**Tabla 1.** Resultados obtenidos para el material de referencia New Ohio Red Clay, por AANI y por ICP-Laser Ablation (última columna).

Elemento	Resultados obtenidos (mg / kg)			
	Este trabajo (n = 10)	Kuleff y otros [9] (n variable)	Bishop [3] (n > 100)	Sharratt y otros [11] (n = 21)
As	14.4 ± 0.87	14.1 ± 0.9	14.2 ± 0.56	10.8 ± 4.9
Ba	600 ± 47	668 ± 43	690 ± 53	580 ± 45
Ce	108.0 ± 3.0	109.7 ± 6.5	105.8 ± 2.3	96 ± 11
Co	23.3 ± 0.6	20.2 ± 1.3	20.6 ± 0.5	24.0 ± 1.2
Cr	85.8 ± 16	90.7 ± 7.4	90 ± 3	93.2 ± 3.3
Cs	9.9 ± 0.35	10.6 ± 0.7	10.18 ± 0.32	10.14 ± 0.49
Eu	1.69 ± 0,05	1.54 ± 0.14	1.456 ± 0.039	1.57 ± 0.29
Fe	50200 ± 1255	53300 ± 2000	51600 ± 1100	40400 ± 1900
Hf	6.81 ± 0,22	7.16 ± 0.84	7.43 ± 0.26	5.51 ± 0.92
La	48.3 ± 1.2	50.9 ± 3.1	54.6 ± 1.2	39.9 ± 4.3
Lu	0.64 ± 0,03	0.64 ± 0.14	0.663 ± 0.046	0.500 ± 0.040
Na	1490 ± 42	1400 ± 70	1440 ± 30	1400 ± 270
Nd	48 ± 18	42.3 ± 2.8	45 ± 7	35.0 ± 5.0
Rb	181 ± 14	184 ± 16	201 ± 12	190 ± 11
Sb	1.07 ± 0,10	1.39 ± 0.09	1.49 ± 0.10	1.16 ± 0.14
Sc	18.6 ± 0.45	18.95 ± 1.17	17.78 ± 0.29	19.65 ± 0.97
Sm	8.5 ± 0.20	8.0 ± 0.6	8.28 ± 0.28	7.0 ± 1.4
Ta	1.38 ± 0,10	1.65 ± -0.21	1.457 ± 0.082	NR
Tb	1.04 ± 0,16	1.06 ± 0.04	1.11 ± 0.13	0.96 ± 0.12
Th	14.6 ± 0.38	15.1 ± 0.8	15.28 ± 0.33	13.9 ± 1.6
U	2.84 ± 0.48	2.96 ± 0.34	2.62 ± 0.44	3.05 ± 0.22
Yb	4.36 ± 0,19	4.27 ± 0.16	4.43 ± 0.22	3.32 ± 0.36
Zn	103 ± 2.6	101 ± 6.0	NR	116.8 ± 8.6

NR: No reportado

**Tabla 2.** Valores promedio de concentración elemental de los grupos de referencia de la cerámica estudiada. Datos de Fe y Na en %. Otros datos en mg / kg.

	<b>Cotahuasi (CH) n = 63</b>	<b>Wari Ayacucho (ACW) n = 12</b>	<b>Tiwanaku (TW) n = 20</b>	<b>Wari Cusco grupo 1 (CU1) n = 10</b>	<b>Wari Cusco grupo 2 (CU2) n = 09</b>	<b>Wari Cusco grupo 3 (CU3) n = 14</b>
	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$
As	12 $\pm$ 20	12.7 $\pm$ 3.8	31 $\pm$ 29	16.2 $\pm$ 7.3	12.2 $\pm$ 7.8	11.5 $\pm$ 3.6
Ba	1040 $\pm$ 190	560 $\pm$ 130	980 $\pm$ 460	780 $\pm$ 190	1200 $\pm$ 320	850 $\pm$ 230
Ce	95 $\pm$ 18	55.6 $\pm$ 4.2	88 $\pm$ 20	96 $\pm$ 15	55.3 $\pm$ 9.9	45.6 $\pm$ 5.2
Co	12.4 $\pm$ 4.02	11.1 $\pm$ 1.6	17.9 $\pm$ 7.6	26.9 $\pm$ 8.7	17.0 $\pm$ 2.0	16.0 $\pm$ 3.8
Cr	21.0 $\pm$ 4.7	28.4 $\pm$ 3.8	58.5 $\pm$ 8.0	105 $\pm$ 20	14.2 $\pm$ 3.4	32.7 $\pm$ 3.9
Cs	7.6 $\pm$ 2.3	8.32 $\pm$ 0.75	15.3 $\pm$ 7.9	10.7 $\pm$ 2.0	6.3 $\pm$ 1.6	6.7 $\pm$ 1.9
Eu	1.44 $\pm$ 0.32	0.76 $\pm$ 0.16	1.31 $\pm$ 0.37	1.43 $\pm$ 0.20	1.21 $\pm$ 0.21	0.92 $\pm$ 0.21
Fe	3.19 $\pm$ 0.36	2.51 $\pm$ 0.18	4.31 $\pm$ 0.31	5.38 $\pm$ 0.28	5.06 $\pm$ 0.86	4.16 $\pm$ 0.36
Hf	7.71 $\pm$ 0.94	4.48 $\pm$ 0.19	6.9 $\pm$ 1.1	6.9 $\pm$ 1.3	5.19 $\pm$ 0.82	4.9 $\pm$ 1.0
La	47.6 $\pm$ 9.3	26.9 $\pm$ 1.9	45 $\pm$ 11	46.0 $\pm$ 7.8	27.4 $\pm$ 4.2	21.9 $\pm$ 2.9
Na	1.67 $\pm$ 0.25	1.39 $\pm$ 0.24	1.34 $\pm$ 0.35	0.85 $\pm$ 0.26	1.58 $\pm$ 0.39	1.92 $\pm$ 0.47
Rb	120 $\pm$ 18	173 $\pm$ 17	137 $\pm$ 28	148 $\pm$ 32	88 $\pm$ 10	80 $\pm$ 12
Sb	1.2 $\pm$ 1.0	1.05 $\pm$ 0.10	1.78 $\pm$ 0.76	2.12 $\pm$ 0.58	0.85 $\pm$ 0.24	1.14 $\pm$ 0.40
Sc	10.8 $\pm$ 1.2	9.19 $\pm$ 0.78	15.3 $\pm$ 1.2	17.23 $\pm$ 0.59	12.5 $\pm$ 1.2	12.55 $\pm$ 0.90
Sm	6.8 $\pm$ 1.8	4.57 $\pm$ 0.29	7.3 $\pm$ 1.8	7.9 $\pm$ 1.0	5.52 $\pm$ 0.81	4.06 $\pm$ 0.60
Th	16.7 $\pm$ 2.8	15.7 $\pm$ 1.4	14.0 $\pm$ 1.9	17.1 $\pm$ 3.3	6.75 $\pm$ 0.75	7.6 $\pm$ 1.1
Yb	2.50 $\pm$ 0.54	2.15 $\pm$ 0.28	3.28 $\pm$ 0.32	3.86 $\pm$ 0.71	3.03 $\pm$ 0.40	2.22 $\pm$ 0.30

**Tabla 3.** Concentraciones elementales de los grupos Wari, obtenidos por AANI, reportados en el presente trabajo y en [12]. Datos de Fe y Na en %. Otros datos en mg / kg.

	<b>Wari Ayacucho (ACW) n = 12</b>	<b>Wari 1 [12]</b>	<b>Wari 2 [12]</b>	<b>Wari 3 [12]</b>
	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$
As	12.7 $\pm$ 3.8	12.5 $\pm$ 2.9	18.6 $\pm$ 2.4	9.6 $\pm$ 3.7
Ba	560 $\pm$ 130	450 $\pm$ 140	550 $\pm$ 160	720 $\pm$ 300
Ce	55.6 $\pm$ 4.2	56.3 $\pm$ 5.6	115.6 $\pm$ 4.6	75 $\pm$ 24
Co	11.1 $\pm$ 1.6	8.60 $\pm$ 0.60	9.6 $\pm$ 1.3	5.1 $\pm$ 0.15
Cr	28.4 $\pm$ 3.8	25.1 $\pm$ 2.2	22.0 $\pm$ 2.0	27.7 $\pm$ 3.0
Cs	8.32 $\pm$ 0.75	10.30 $\pm$ 0.52	13.60 $\pm$ 0.82	7.300 $\pm$ 0.073
Eu	0.76 $\pm$ 0.16	0.900 $\pm$ 0.045	1.400 $\pm$ 0.042	1.100 $\pm$ 0.066
Fe	2.51 $\pm$ 0.18	2.39 $\pm$ 0.17	2.05 $\pm$ 0.12	2.26 $\pm$ 0.25
Hf	4.48 $\pm$ 0.19	4.200 $\pm$ 0.084	8.8 $\pm$ 0.35	6.30 $\pm$ 0.25
La	26.9 $\pm$ 1.9	25.6 $\pm$ 1.3	52.40 $\pm$ 0.51	41.6 $\pm$ 5.8
Rb	173 $\pm$ 17	170.4 $\pm$ 5.1	209 $\pm$ 6.3	113.2 $\pm$ 3.4
Sb	1.05 $\pm$ 0.10	1.000 $\pm$ 0.080	0.900 $\pm$ 0.063	0.600 $\pm$ 0.042
Sc	9.19 $\pm$ 0.78	8.90 $\pm$ 0.62	12.30 $\pm$ 0.49	6.90 $\pm$ 0.76
Sm	4.57 $\pm$ 0.29	5.05 $\pm$ 0.20	10.90 $\pm$ 0.22	5.80 $\pm$ 0.35
Th	15.7 $\pm$ 1.4	16.10 $\pm$ 0.32	24.60 $\pm$ 0.42	19.3 $\pm$ 2.1
Yb	2.15 $\pm$ 0.28	2.00 $\pm$ 0.22	5.40 $\pm$ 0.11	1.50 $\pm$ 0.18

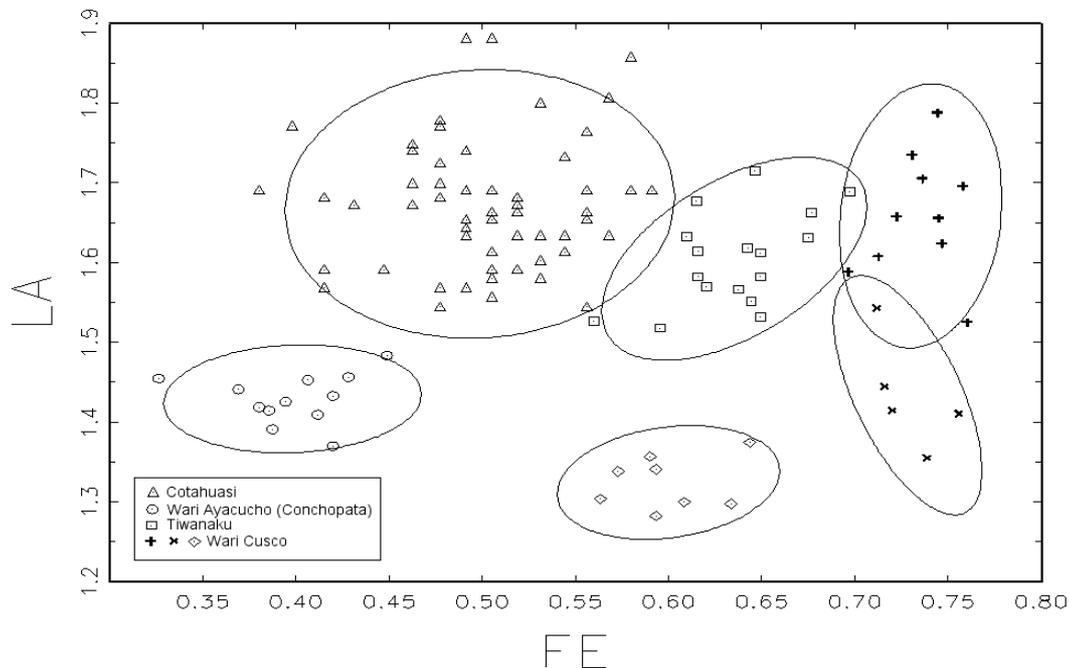
La figura 1, presenta un ejemplo de separación del grupo de Cotahuasi y los grupos de referencia, para el caso del par Fe – La. A su vez, las figuras 2 - 4 muestran la diferencia entre los 06 grupos de referencia, empleando los tres primeros componentes

principales. Dichos componentes, calculados a partir de las concentraciones de Ce, Cr, Fe, Hf, La, Sc, Sm y Th, describen en conjunto el 87.98 % de la varianza observada en los datos.

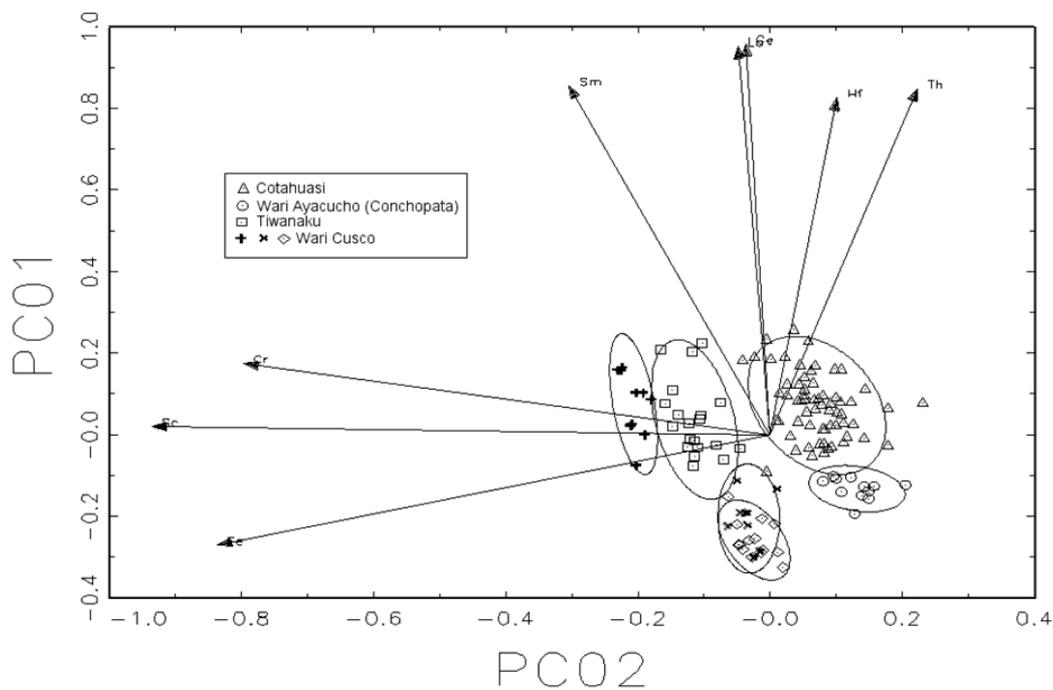
Se ha obtenido las probabilidades de pertenencia de los fragmentos de cerámica

incluidos en el presente estudio, a cada uno de los 06 grupos empleados como referencia. Las distancias consideradas son las de Mahalanobis. Las muestras de estilo Inca no se usaron para definir el grupo composicional local. Es notorio que 96 de las 121 muestras

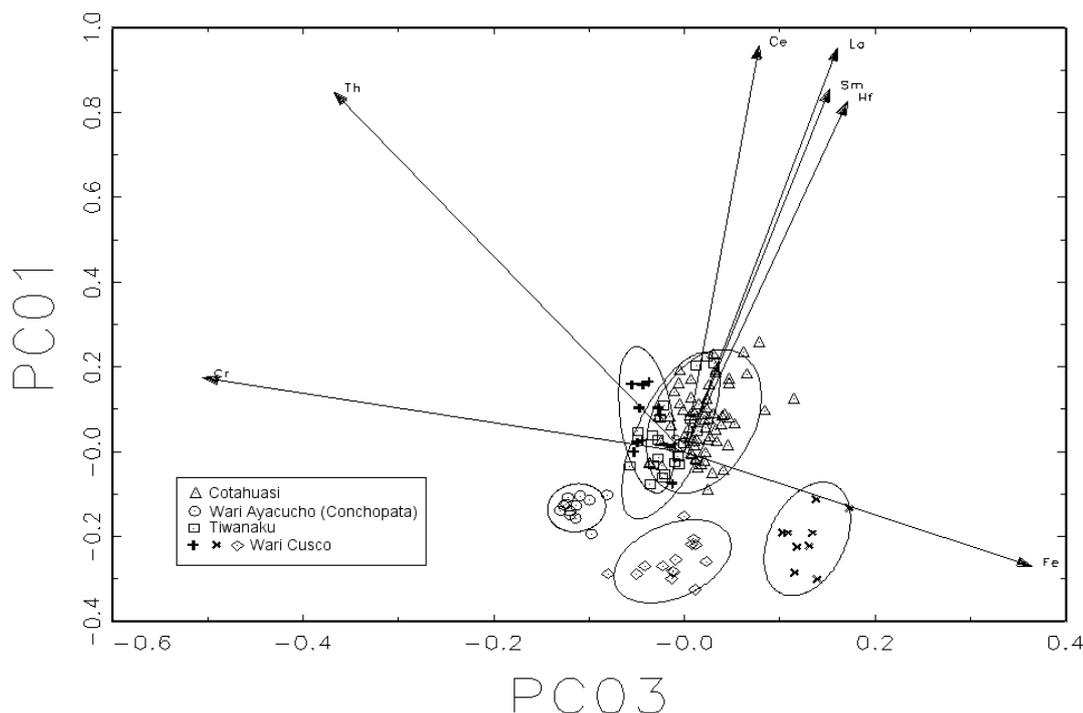
de cerámica, encontradas en el valle de Cotahuasi, presentan probabilidades significativas ( $P > 5\%$ ) de pertenencia al grupo principal de composición química de dicho valle (CH).



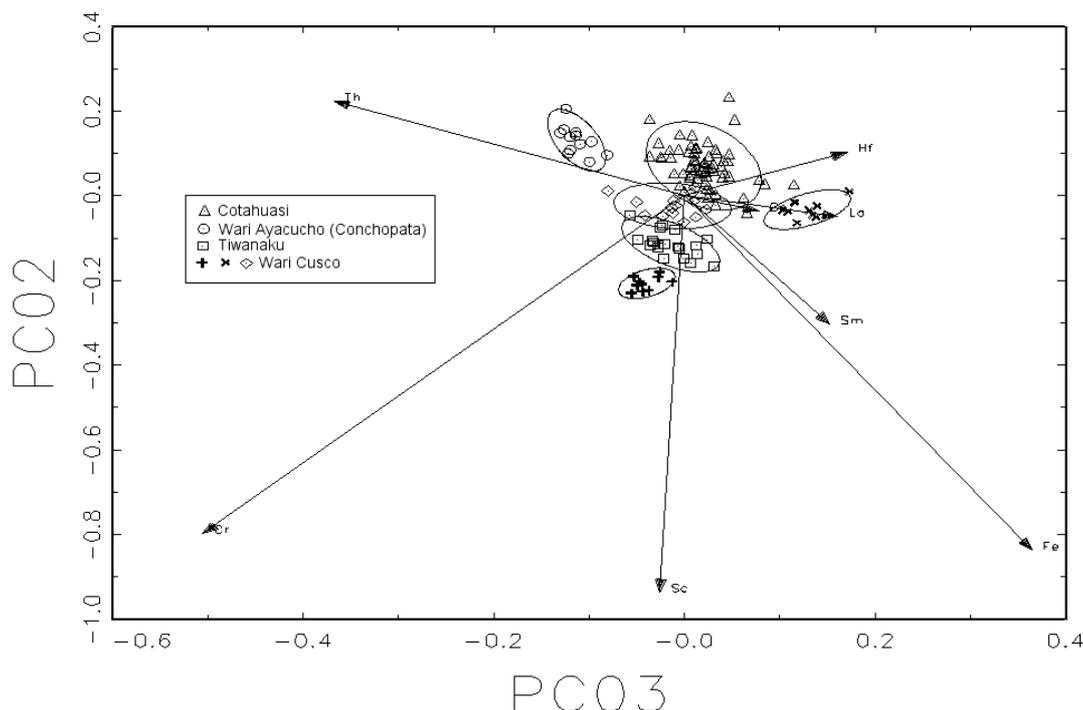
**Figura 1.** Distribución composicional de los grupos de cerámica en el plano Fe – La. Las concentraciones están en escala logarítmica. Las elipses de probabilidad corresponden a niveles de confianza de 90% en cada variable.



**Figura 2.** Distribución composicional de los grupos de cerámica en el plano de los componentes principales PC1 y PC2. Dichos componentes describen el 50.76 % y 29.62 % de la varianza observada. Las elipses de probabilidad corresponden a niveles de confianza de 90% en cada variable.



**Figura 3.** Distribución composicional de los grupos de cerámica en el plano de los componentes principales PC1 y PC3. Dichos componentes describen el 50.76 % y 7.60 % de la varianza observada. Las elipses de probabilidad corresponden a niveles de confianza de 90% en cada variable.



**Figura 4.** Distribución composicional de los grupos de cerámica en el plano de los componentes principales PC2 y PC3. Dichos componentes describen el 29.62 % y 7.60 % de la varianza observada. Las elipses de probabilidad corresponden a niveles de confianza de 90% en cada variable.

En los resultados de probabilidad de pertenencia de las muestras de cerámica, relativas a los 06 grupos de referencia considerados CH: Cotahuasi; ACW: Ayacucho Conchopata Wari; TW: Tiwanaku; CU1 – CU3: Cusco 1 – Cusco 3, se observa

que los siguientes 09 casos, presentan probabilidades muy bajas ( $P \leq 5\%$ ) de pertenecer a cualquiera de los grupos de referencia mencionados:

- Las muestras 2C-24-3 y 16110.1, de estilo

Tarhuara, presentan probabilidades de pertenencia al grupo composicional CH, de  $P = 4.351 \%$  y  $P = 4.426 \%$ , respectivamente. Por otra parte, dado que se trata de un estilo utilitario, ambas muestras tienen que ser definitivamente consideradas como de fabricación local.

- Las muestras 2D-107-6, 8038.1 y 10011.3, de estilo Huayllura, presentan probabilidades de pertenencia al grupo composicional local de Cotahuasi (CH) de  $P = 4.145 \%$ ,  $P = 1.443 \%$  y  $P = 0.000 \%$ , respectivamente. Al mismo tiempo presentan probabilidades de pertenencia al grupo composicional CU2, de Cusco, de  $P = 3.714 \%$ ,  $P = 4.745 \%$  y  $P = 2.913 \%$ , respectivamente. Las muestras 2D-107-6 y 8038.1 representan un problema, ya que su composición cae simultáneamente en los extremos de los grupos composicionales local (CH) y de Cusco (CU2). Dado que estas dos muestras tienen bajas probabilidades de pertenencia a cualquiera de los grupos mencionados, es preferible dejarlas sin clasificar, puesto que no contribuyen a dilucidar la procedencia de las muestras de estilo Inca, encontradas en Cotahuasi. Por otra parte, la muestra 10011.3 parece corresponder al grupo composicional de Cusco.
- La muestra 2D-120-6, de estilo Tarcanya, presenta una probabilidad baja de pertenecer al grupo CU2 de Cusco ( $P = 0.911 \%$ ) y probabilidades despreciables ( $P < 0.061 \%$ ) de pertenecer a cualquier otro de los grupos de referencia. Así, aunque esta muestra podría haber sido fabricada en Cusco, lo más seguro es dejarla sin clasificar.
- La muestra 12B-261-10, de estilo Chapi, presenta una probabilidad de pertenecer al grupo CU2, de  $P = 4.998 \%$ . Aunque este valor está justo por debajo del límite inferior considerado ( $P = 5.000 \%$ ), parece claro que la muestra 12B-261-10 pertenecería al mencionado grupo composicional de Cusco, ya que presenta probabilidades despreciables de pertenencia a cualquiera de los otros grupos considerados.
- Las muestras 6C-2261 y 24013.1, de estilos Alcollaca y Pullhuay, respectivamente, deberían y parecen ser de procedencia local, a pesar de sus bajas probabilidades de pertenencia ( $P = 3.757 \%$  y  $P = 1.968 \%$ ,

respectivamente).

Adicionalmente, se observa que las siguientes 05 muestras de la cerámica encontrada en Cotahuasi, presentan un comportamiento atípico:

- La muestra 2C-71-2, clasificada estilísticamente como Sayhua con influencia Pukara, presenta una probabilidad significativa de pertenecer al grupo composicional CU2, de Cusco ( $P = 31.365 \%$ ). Al mismo tiempo, presenta probabilidades despreciables de pertenecer a cualquiera de los otros grupos de referencia considerados. La composición peculiar de esta muestra podría estar relacionada con el período cultural (Cerámica Inicial - Formativo) al que se encuentra asociada.
- La muestra 6B-221-1, clasificada estilísticamente como Runarina, presenta una afinidad composicional significativamente mayor ( $P = 10.771 \%$ ) con el grupo CU2, de Cusco, que con el grupo local CH ( $P = 0.793 \%$ ). Otras dos muestras analizadas de estilo Runarina (2A-189-1, 2A-200-4), pertenecen claramente al grupo composicional local.
- La muestra 3017.10, clasificada estilísticamente como Canllapampa, presenta una afinidad composicional significativamente mayor ( $P = 15.390 \%$ ) con el grupo CU2, de Cusco, que con el grupo local CH ( $P = 2.855 \%$ ).
- La muestra 19127.15, clasificada estilísticamente como Tarhuara, presenta una afinidad composicional significativamente mayor ( $P = 10.630 \%$ ) con el grupo CU2, de Cusco, que con el grupo local CH ( $P = 4.126 \%$ ).
- La muestra 26006.1, clasificada estilísticamente como Chapi, presenta una afinidad composicional ligeramente mayor ( $P = 7.920 \%$ ) con el grupo de Tiwanaku, que con el grupo CU2 de Cusco ( $P = 6.120 \%$ ).

En el caso de las muestras atípicas 6B-221-1, 3017.10 y 19127.15, se esperaba que hubieran correspondido al grupo composicional de Cotahuasi (CH). Una posible causa del comportamiento atípico, podría ser que existe un cierto grado de parecido químico entre los grupos composicionales de Cusco, Cotahuasi y

Tiwanaku, tal como se puede observar en la figura 3. La hipótesis del parecido químico explicaría parcialmente el comportamiento de la muestra 19127.15, ya que Tarhuara es un estilo utilitario local y no tendría sentido clasificarla como un fragmento fabricado fuera de Cotahuasi; sin embargo, otro factor a considerar en este caso es que la cerámica Tarhuara está hecha de pasta de textura gruesa y la inclusión de antiplásticos, como por ejemplo arena, puede tener influencia apreciable en la composición. El parecido químico entre los grupos de Cusco, Cotahuasi y Tiwanaku, también podría explicar la ambigüedad observada en la procedencia de la muestra 26006.1.

En el caso de la muestra de estilo Canllapampa, codificada como 3017.10, las probabilidades de pertenencia indican que podría tratarse de un cerámico Wari fabricado en Cusco.

De esta manera, y adoptando una política conservadora, 96 de las 121 muestras estudiadas, quedan consistentemente clasificadas como locales. Otras 09 quedan sin clasificar debido a sus bajas probabilidades de pertenencia a los grupos de referencia considerados. A éstas últimas, habría que añadir las 05 muestras que presentan un comportamiento atípico.

Analizando con mayor detalle la cerámica encontrada en el valle de Cotahuasi, se observa lo siguiente:

- Con excepción del fragmento 3017.10, todas las muestras de los estilos Canllapampa, Condorsayhua y Fiuri corresponden al grupo composicional local. De éstas, 07 presentan probabilidades de pertenencia entre  $P = 11.006\%$  y  $P = 31.183\%$ , mientras que las 29 restantes presentan probabilidades de pertenencia mayores que  $P = 31.183\%$  ( $\pm 1\sigma$ ). De esto se puede inferir que las muestras de estilos Wari, encontradas en el valle de Cotahuasi, son de fabricación local. No se ha encontrado evidencia de una eventual presencia de cerámica Wari fabricadas en Ayacucho, aunque esto no descarta la posibilidad.
- Con respecto a los 41 fragmentos de cerámica Inca, que corresponde a los estilos Chapi, Huayllura, Sojra y Tarcanya, se observa que 24 de ellos pertenecen al grupo

composicional local y otros 11 al grupo composicional CU2, de Cusco. Las 06 restantes presentan bajas probabilidades de pertenencia ( $P \leq 5\%$ ) a cualquiera de los grupos de referencia y se han descrito anteriormente. La presencia de un número de casos de cerámica Inca, pertenecientes a un grupo composicional de cerámica de Cusco, sugiere que dichas cerámicas se habrían fabricado en Cusco y llevado en algún momento a Cotahuasi.

Con excepción de los casos atípicos 2C-71-2 (Sayhua), 6B-221-1 (Runarina) y 19127.15 (Tarhuara), todas las muestras analizadas, de los estilos Aicano, Sayhua, Pullhuay, Tarhuara, Accomarca, Ischuloma, Runarina, Callpana y Allcullaca, se clasifican consistentemente como pertenecientes al grupo composicional local. Esto sigue siendo cierto para los casos 2C-24-3, 16110.1, 6C-2261 y 24013.1, que presentan bajas probabilidades de pertenencia. Los estilos mencionados cubren los períodos culturales Formativo, Horizonte Medio e Intermedio Tardío.

#### 4. Conclusiones

La cerámica analizada del valle de Cotahuasi es de composición química local, incluyendo la de estilo Wari encontrada.

Parte de la cerámica Inca, encontrada en Cotahuasi, habría sido importada de Cusco.

Con la técnica de AANI, método *k-subcero*, también se obtienen resultados confiables para aplicaciones en arqueológicas.

#### 5. Referencias

- [1] Sayre EV, Dodson R W. Am. J. Archaeol. 1957; 61:35.
- [2] Sayre EV, Murrenhoff A, Weick Ch. The Nondestructive analysis of ancient potsherds through neutron activation. Upton (NY): Brookhaven National Laboratory. 1958 Apr. Report No. BNL 508. Patrocinado por: United States Atomic Energy Commission.
- [3] Bishop RL. Instrumental neutron activation analysis of archaeological ceramics: Progress and challenges. En: International Atomic Energy Agency. Technical Reports Series No. 416. Vienna:

IAEA; 2003. p. 35-44.

[4] Bishop RL, Blackman MJ. Instrumental neutron activation analysis of archaeological ceramics: Scale and interpretation. *Acc. Chem. Res.* 2002; 35(8):603-610.

[5] Glascock MD, Neff H. Neutron activation analysis and provenance research in archaeology. *Meas. Sci. Technol.* 2003; 14:1516-26.

[6] De Corte, F. The  $k_0$  standardization method. *Habil. Thesis, University of Ghent.* 1987.

[7] Montoya E, Mendoza P, Bedregal P, Cohen IM. The development of the  $k_0$  method in Peru: Past, present and future perspectives. *Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A.* DOI: 10.1016/j.nima.2010.04.005.

[8] Bedregal P, Mendoza P, Ubillús M, Montoya E.  $k_0$ -INAA method accuracy using Zn as comparator. *Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A.* DOI: 10.1016/j.nima.2010.01.043.

[9] Kuleff I, Djingova R. Mean elements determined in Ohio Red Clay. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.* 1998; 237(1-2):3-6.

[10] Montoya E, Glowacki M, Zapata J, Mendoza P. Chemical characterization of archaeological ceramics using  $k_0$ -based INAA: A study in the production and distribution of middle horizon pottery from Cuzco, Peru. En: International Atomic Energy Agency. Nuclear analytical techniques in archaeological investigations. Technical Report Series No. 416. Vienna: IAEA; 2003. p. 163-183. Ver también: Montoya E, Glowacki M, Zapata J, Mendoza P. Caracterización de cerámicos Wari mediante análisis por activación neutrónica. *Revista de la Sociedad Química del Perú.* 2009; 75(4): 473-478.

[11] Sharratt N, Golitko M, Williams PR, Dussubieux L. *Geoarchaeology.* 2009; 24(6): 792-820.

[12] Dussubieux L, Golitko M, Williams PR, Speakman RJ. Laser Ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry analysis applied to the characterization of peruvian Wari ceramics. En: ACS Symposium Series 968: Archaeological Chemistry – Analytical Techniques and Archaeological Interpretation. Chapter 19. 2007.

## Evaluación de la actividad antioxidante, contenido de polifenoles totales y actividad antimicrobiana de fracciones de sangre de grado, *Croton lechleri*

Justo Carrión<sup>1</sup>, Rosa Avilés<sup>1</sup>, Kety León<sup>2</sup>, Julio Santiago<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Química e Ing. Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela S/N, Lima 1, Perú

<sup>2</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

Se ha evaluado la actividad antioxidante, contenido de polifenoles totales y actividad antimicrobiana de diferentes extractos obtenidos a partir de sangre de grado, *Croton lechleri*, en polvo. Los extractos obtenidos con etanol, metanol, solución hidroalcohólica y por tratamiento con acetato de etilo presentan características diferentes. La fracción etanólica presenta la mayor actividad antioxidante, mientras que el látex original presenta el mayor contenido de polifenoles totales. En cambio, la solución hidroalcohólica presenta mayor actividad antimicrobiana frente a *S. aureus*.

### Abstract

The antioxidant activity, total polyphenol content and antimicrobial activity of different extracts from dragon's blood, *Croton lechleri*, powder have been evaluated. The fractions obtained with ethanol, methanol, water-alcohol solution and ethyl acetate treatment have different characteristics. The ethanol fraction has the highest antioxidant activity, while the original latex has the highest content of total polyphenols. However, the water-alcohol solution has higher antimicrobial activity against *S. aureus*.

## 1. Introducción

La sangre de grado, *Croton lechleri* (Muell-Arg) (Euphorbiaceae), es un árbol que crece en la zona andina tropical de Perú, Colombia, Ecuador y Bolivia. Su látex es muy utilizado en la medicina tradicional en el tratamiento de úlceras estomacales, gastritis crónicas, cirrosis al hígado, y como cicatrizante de heridas internas y externas [1,2]. Los compuestos químicos presentes en el látex han sido muy investigados, siendo las proantocianidinas las que se encuentran en un 90% del peso seco. Otros compuestos presentes son los alcaloides (taspina), lignanos, derivados de la catequina, polifenoles, etc. [3-5]. A la taspina se le atribuyen las cualidades cicatrizantes, antiinflamatorias y citotóxicas en células tumorales. El proceso de cicatrización es coadyuvado por las proantocianidinas (efecto antioxidante) y los lignanos. Asimismo, el efecto antimicrobiano de los polifenoles coadyuva al efecto cicatrizante general de la resina, provocando la precipitación de las

proteínas de las células, formándose una costra que cubre la herida. Adicionalmente, el contenido de la proantocianidina oligomérica SP-303 presenta actividad antiviral [6].

La sangre de grado presenta actividad antimicrobiana frente a gram-positivos, como: *S. aureus* ATCC 6538 y *S. epidermidis* ATCC 12228; y a gram-negativos: *Pseudomonas* y *Klebsiela* FDA 602 [7]. Igualmente, se ha encontrado que la sangre de grado inhibe el crecimiento de *Helicobacter pylori* en concentraciones elevadas [8].

Se ha demostrado la eficiencia de películas de quitosano-alcohol polivinílico embebidas en soluciones hidroalcohólicas de sangre de grado en el tratamiento de quemaduras provocadas en conejos, al igual que las propiedades antimicrobianas de estas películas [9,10]. Igualmente, se ha demostrado que la actividad antioxidante de

\* Correspondencia autor: jsantiago@ipen.gob.pe

extractos hidroalcohólicos obtenidos a partir de sangre de grado en polvo disminuía dramáticamente cuando la muestra era tratada con radiación gamma por encima de 5 kGy, sin embargo la actividad antimicrobiana no se modificaba [11].

En este trabajo hemos obtenido diferentes extractos a partir de sangre de grado en polvo y evaluado su actividad antioxidante, contenido de polifenoles totales y actividad antimicrobiana.

## 2. Experimental

### 2.1 Obtención de las fracciones

El latex de sangre grado fue evaporado a 50°C y el polvo obtenido fue extraído con etanol (Scharlau 99,9%), metanol (Scharlau 99,9%) y una mezcla hidroalcohólica al 10%. Esta mezcla fue filtrada, centrifugada (5000 rpm/5 min) y el sobrenadante fue concentrado a 50°C hasta obtener un polvo rojizo.

Cuando se utilizó acetato de etilo como solvente, prácticamente no se observó ninguna extracción, por lo que se procedió a filtrar la mezcla y se secó el residuo sólido obtenido.

### 2.2 Medida de la actividad antioxidante

Se siguió el método de Brand-Williams modificado por Sandoval [12,13]. Se mezcló 0,2 g de muestra extraída con 4 mL de una mezcla hidroalcohólica al 10% y se filtró con papel Wattmann.

Se preparó una solución stock de 2,2-Difenil-1-picrilhidracil, DPPH 1mM en etanol y se almacenó a 4°C protegiéndola de la luz. A partir de la solución stock se preparó 20 mL de DPPH 100 µM en etanol. 975 µL de esta solución se agregó a 25 µL de la solución de la muestra a estudiar y se leyó la absorbancia a 515 nm. Todos los extractos fueron medidos por duplicado a diferentes concentraciones de 0,3; 1; 5, 10 y 15 µg/mL. Con los valores de absorbancia obtenidas se determinó el porcentaje de captación de radicales libres (DPPH•), mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ Inhibición} = ((A_{\text{control}} - A_{\text{muestra}}) / A_{\text{control}}) * 100,$$

donde  $A_{\text{control}}$  es la absorbancia de la solución de DPPH, y  $A_{\text{muestra}}$  es la absorbancia de la muestra luego de 15 min.

### 2.3 Medida del contenido de polifenoles totales

Se siguió el método de Folin-Ciocalteu [14]. Preparación de la curva de calibración: se prepararon soluciones de 50-1000 mg/L de ácido gálico en EtOH.

Preparar tubos de ensayo con 1,58 mL de agua destilada y agregar 20 µL de muestra, control o estándar. Luego añadir 100 µL del reactivo Folin-Ciocalteu, esperar 1 min y añadir 300 µL de carbonato de sodio al 20%(p/v). Luego de 2 h se agregó 1mL de estas soluciones en una cuveta y se midió la absorbancia a 765 nm y se introdujo en la curva de calibración para calcular el contenido de polifenoles totales expresados en equivalente de ácido gálico (EAG) por gramo de muestra.

### 2.4 Actividad antimicrobiana

Se prepararon soluciones hidroalcohólicas de los extractos (0,1 g en 10 mL) y se introdujeron películas de quitosano-alcohol polivinílico, 3x3 cm<sup>2</sup>, por 20 minutos [15]. Luego estas películas fueron cortadas en discos de 0,8 mm de diámetro.

Se preparó un inóculo de  $1 \times 10^8$  UFC/mL de *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, que fue sembrado con la ayuda de una torunda sobre placas de agar Muller Hinton previamente incubadas. Luego se colocaron los discos de las películas embebidas sobre las placas, se dejó incubando a 37 °C por 24 horas y se midieron los halos de inhibición.

## 3. Resultados y Discusión

El rendimiento de las extracciones fue de 62% con metanol, 70% con etanol y 100% con la solución hidroalcohólica al 10%; mientras que lo recuperado luego del "lavado" con acetato de etilo fue de 95%.

La inhibición de los radicales libres de DPPH es determinado por la decoloración de la solución de violeta a amarillo, el cual es medido espectrofotométricamente a 515 nm. A medida que hay un mayor secuestro de los radicales libres por un antioxidante, la absorbancia disminuye.

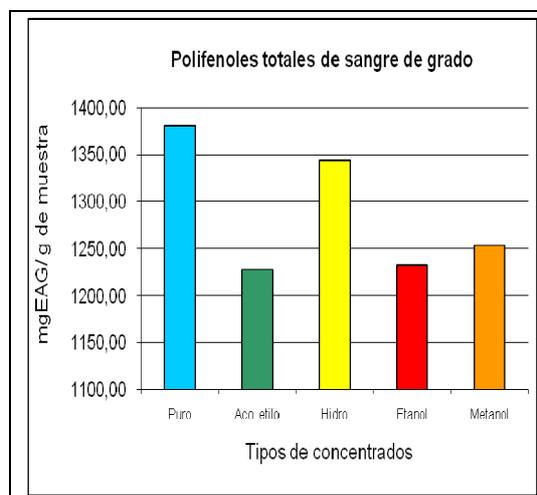
La actividad antioxidante de las diferentes muestras de sangre de grado, a diferentes concentraciones, se muestran en la tabla 1. Se observa que la fracción que presenta el mayor porcentaje de inhibición de los radicales libres del DPPH son la que fueron extraídas con etanol y metanol, seguidas por las fracciones hidroalcohólicas y el látex original, y luego el residuo obtenido del tratamiento con acetato de etilo. Para una concentración de 10 µg/mL se observa mejor estas diferencias.

La fracción que presentó el mayor contenido de polifenoles totales fue el látex de sangre de grado original, seguido de la fracción hidroalcohólica, metanólica, etanólica y del residuo obtenido luego del tratamiento con acetato de etilo, figura 1.

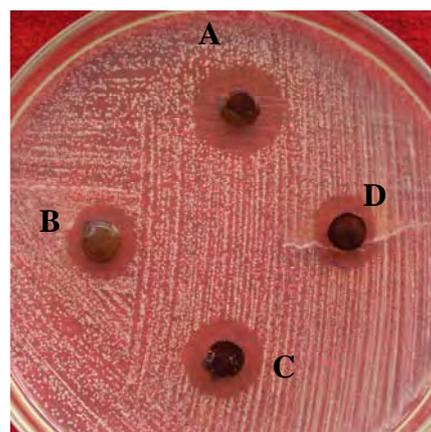
Los extractos etanólico y metanólico presentan actividad antimicrobiana frente a la cepa de *S. aureus*, pero esta actividad se ve disminuida respecto al hidrogel embebido directamente con una solución hidroalcohólica de sangre de grado en polvo sin ningún tratamiento (A), figura 2. Mientras que A presenta un halo de aproximadamente 17-18 mm de diámetro, los demás extractos se encuentran entre 13-15 mm. Esto se observa mejor en las películas preparadas con 20 mL de mezcla de polímeros, mientras que los preparados con 30 mL presentan halos con diámetros menores.

En el caso de las películas embebidas con la muestra "lavada" con acetato de etilo, se observa actividad antimicrobiana frente a la misma cepa y con la misma dimensión que los obtenidos con los otros extractos. Esto es un poco sorprendente ya que esta fracción es la que presenta menor capacidad antioxidante y menor contenido de fenoles totales.

Como en experiencias anteriores, las películas con sangre de grado no han mostrado actividad antimicrobiana frente a las cepas de *E. coli* y *P. Aeruginosa* [9-11].



**Figura 1.** Contenido polifenoles totales de sangre de grado concentrado determinado mediante el método Folin-Ciocalteu.



**Figura 2.** Actividad antimicrobiana de películas embebidas en soluciones hidroalcohólicas sangre de grado (A), en extracto etanólico (B), extracto metanólico (C) y muestra tratada con acetato de etilo (D), frente a *S. Aureus*.

**Tabla 1.** Porcentaje de inhibición de las fracciones de sangre de grado en función de la concentración.

Concentración (µg/ml)	% de Inhibición de los radicales libres de DPPH Fracciones de Sangre de Grado				
	Puro	Acetato de etilo	Hidroalcohólico	Etanol	Metanol
0,3	9,4	4,4	10,9	12,4	7,9
1	16,6	10,3	16,4	19,4	15,4
5	39,6	31,4	44	46,8	43,7
10	59,6	47,4	60,3	67,9	66,8
15	88,9	69	82,2	90,6	89,8

#### 4. Conclusiones

Las fracciones de sangre de grado obtenidas por extracción, a partir de sangre de grado en polvo, con etanol, metanol, solución hidroalcohólica y por tratamiento con acetato de etilo presentan características diferentes. La fracción etanólica presenta la mayor actividad antioxidante, mientras que el latex original presenta el mayor contenido de polifenoles totales. En cambio, la solución hidroalcohólica presenta mayor actividad antimicrobiana, frente a *S. aureus*, que los otros extractos.

#### 5. Bibliografía

- [1] Gupta D, Bleakley B, Gupta R. Dragon's blood: Botany, chemistry and therapeutic uses. *Journal of Ethnopharmacology*. 2008; 115:361-380.
- [2] Chen Z, Cai Y, Phillipson J. Studies on the anti-tumour, anti-bacterial, and wound-healing properties of dragon's blood. *Planta Medica*. 1994; 60(6):541-545.
- [3] Vaisberg A, Milla M, Planas M, Cordova J, Rosas de Agusti E, Ferreyra R, Mustiga M, Carlin L, Hammond G. Taspine is the cicatrizant principle in Sangre de Grado extracted from *Croton lechleri*. *Planta Medica*. 1989; 55:140-143.
- [4] Cai Y, Evans F, Roberts M, Phillipson J, Zenk M, Gleba Y. Biological and chemical investigation of Dragon's Blood from *Croton* species of South America. Part 1. Polyphenolic compounds from *Croton lechleri*. *Phytochemistry* 1991; 30:2033-2040.
- [5] De Marino S, Gala F, Zollo F, Vitalini S, Fico G, Visioli F, Iorizzi M. Identification of minor secondary metabolites from the latex of *Croton lechleri* (Muell-Arg) and evaluation of their antioxidant activity. *Molecules* 2008; 13: 1219-1229. Disponible en [www.mdpi.org/molecules/papers/13061219.pdf](http://www.mdpi.org/molecules/papers/13061219.pdf)
- [6] Ubillús R, Jolad S, Bruening R, Kernan M, King S, Sesin D. SP-303, an antiviral oligomeric proanthocyanidin from the latex of *Croton lechleri* (sangre de drago). *Phytomedicine*. 1994; 1:77-106.
- [7] Zapata R. Actividad antimicrobiana in vitro de la droga comercializada como Sangre de Grado. [Tesis Químico Farmacéutico]. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 1987.
- [8] Tamariz J, Capcha R, Palomino E, Aguilar J. Actividad antibacteriana de la Sangre de Grado (*Croton lechleri*) frente al *Helicobacter pylori*. *Revista Medica Herediana*. 2003; 81-88.
- [9] León K, Santiago J. Propiedades antimicrobianas de películas de quitosano-alcohol polivinílico embebidas en extracto de sangre de grado. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 2007; 73(3):158-165.
- [10] Rojas N, León K, Villacaqui E, Santiago J. Tratamiento de quemaduras con películas de quitosano-alcohol polivinílico conteniendo sangre de grado: Estudio preliminar. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2007. Lima: IPEN; 2008. p. 211-215.
- [11] León K, Castillo P, Santiago J. Efecto de la radiación gamma en la actividad antimicrobiana y antioxidante de la sangre de grado. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2007. Lima: IPEN; 2008. p. 187-191.
- [12] Brand-Williams W, Cuvelier M, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie. Food Science and Technology*. 1995; 28:25-30.
- [13] Sandoval M, Okuhama N, Angeles F, Melchor V, Candezo L, Lao J, Miller M. Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium meyenii*). *Food Chemistry*. 2002; 79:207-213.
- [14] Vásquez A, Cala M, Miranda I, Tafurt G, Martínez J, Stashenki E. Actividad antioxidante y contenido total de fenoles de los extractos etanólicos de *Salvia aratocensis*, *Salvia Sochensis*, *Bidens reptans* y *Montanoa ovalifolia*. *Scientia et Technica*. 2007; 33:205-207. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/849/84903354.pdf>
- [15] Carhuapoma W, Santiago J. Caracterización de hidrogeles de quitosano - alcohol polivinílico obtenidos por radiación gamma. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 2005; 6:333-346.

## Caracterización microestructural de cenizas de *Morinda citrifolia*

### *Linneo Noni*

Zoila Garay<sup>1</sup>, Alcides López<sup>1,2,\*</sup>, Otilia Acha<sup>1</sup>, Amanda Souza<sup>3</sup>, Ingrit Collantes<sup>1</sup>,  
Paula Olivera<sup>2</sup>, Julio Santiago<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú

<sup>2</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear. Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>3</sup> Laboratorio de Extração, Universidade Paulista. Av. Paulista 900, Bela Vista, São Paulo, Brazil

<sup>4</sup> Facultad de Química e Ing. Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela S/N, Lima 1, Perú

### Resumen

El noni, *Morinda citrifolia* Linneo, es muy utilizado en la medicina tradicional debido a su actividad antibacteriana, antiviral, antiparasitaria, anti-hongos, previniendo la proliferación de tumores y la diabetes. En este trabajo se presenta el estudio de la composición elemental y morfológica de las cenizas de las cáscaras, semillas, pulpa y hojas del noni. Estas cenizas son básicamente de naturaleza amorfa, excepto las que provienen de la calcinación de las hojas. Los compuestos principales que han sido identificado son el CaCO<sub>3</sub> (semillas y hojas), CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (cáscaras y semillas), KHCO<sub>3</sub> (en todas las muestras excepto en las hojas), KCl (hojas) y SiO<sub>2</sub> (hojas y pulpa). Se ha podido observar nanopartículas (20 nm) en todas las muestras, excepto en las cenizas de hojas.

### Abstract

Noni, *Morinda citrifolia* Linnaeus, is widely used in traditional medicine due to its antibacterial, antiviral, antiparasitic and antifungal properties, preventing the proliferation of tumors and diabetes. This paper presents a study of the elemental and morphological composition of the ashes from the peels, seeds, pulp and leaves of the noni. These ashes are basically amorphous, except those from the roasting of the leaves. The main compounds that have been identified are the CaCO<sub>3</sub> (seeds and leaves), CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (peels and seeds), KHCO<sub>3</sub> (all samples except in leaves), KCl (leaves) and SiO<sub>2</sub> (leaves and pulp). Nanoparticles (20 nm) have been observed in all samples except in the ashes of leaves.

### 1. Introducción

El Noni *Morinda Citrifolia* Linneo conocida como queso de frutas, noni, morera india, etc. pertenece a la familia de las Rubiáceas y es nativa del sur este de Asia, Oceanía y de Asia tropical que se extiende desde la Polinesia hasta la India.

El noni es una planta mundialmente utilizada en la medicina tradicional para reforzar el sistema inmunológico debido a su actividad antibacteriana, antiviral, antiparasitaria, anti-hongos, lo que permite prevenir la proliferación maligna de tumores y la diabetes [1-4]. Por esta razón ha despertado un gran interés económico y actualmente se cultiva a escala comercial en los trópicos y en el hemisferio sur [4].

El género *Morinda* comprende alrededor de 80 especies y están presentes exclusivamente en zonas de clima tropical [5]. Esta especie es un árbol pequeño con flores blancas, hojas

anchas y brillosas, la fruta madura tiene un olor fétido, causado por la presencia del octanoato de metilo, componente mayoritario del aceite esencial de la cáscara, pulpa y semillas del Noni [6].

Se han realizado muchos estudios para identificar los componentes presentes en el noni, hasta el momento se han aislado aproximadamente 200 compuestos en la que se observan antraquinonas glicosiladas, ácidos grasos y sus derivados, iridoides e iridoides glicosilados, lignanos, neolignanos, flavonoides glicosilados, fenilpropanoides, triterpenos y azúcares [7-10]. Sin embargo, no se ha reportado hasta el momento ningún estudio de la composición de las cenizas obtenidas por calcinación de las diferentes partes del noni.

Como referencia de otros estudios de cenizas

---

\* Correspondencia autor: alopez@ipen.gob.pe

de especies vegetales podemos mencionar el estudio por Microscopía Electrónica de Transmisión (MET) de las cenizas de la cáscara de arroz, donde se observó un 94% de SiO<sub>2</sub> nanoestructurado [11,12]. De otro lado, en un estudio realizado por MET y difracción de rayos X (DRX) sobre las cenizas del bagazo de la caña de azúcar calcinado a 800 y 1000 °C se encontraron partículas menores a 90 micras que cambian su morfología y textura en presencia de calcio y silicio, observándose magnetita en sitios ricos en calcio, se encontraron además, que estas cenizas tienen alta influencia en la actividad puzolánica [13,14]. En otro estudio con microscopía electrónica de barrido (MEB) y MET se ha identificado la morfología de la parte orgánica que no ha sido completamente calcinada encontrándose que estas fibras retienen sus características originales [15].

De acuerdo con lo mostrado, los vegetales tienen componentes inorgánicos que pueden mantener o cambiar su fase con los procesos y en especial con los tratamientos térmicos que se les practique y que han podido ser estudiadas a nivel microscópico. Tales trabajos han motivado una propuesta de estudio para las cenizas de diferentes partes de la fruta Noni *M. citrifolia* mediante MET y otras técnicas analíticas.

## 2. Experimental

Las muestras del Noni *Morinda citrifolia* fueron obtenidas en la ciudad de Pucallpa, departamento de Ucayali, Perú, el 15 de mayo de 2007. La muestra fue depositada en el Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y fue identificada por la Bióloga Joaquina Alban Castillo.

Las cenizas para el presente estudio fueron preparados por calcinación a 400 °C en una mufla eléctrica y caracterizados haciendo uso de un equipo de FTIR SHIMADZU ATR por Reflectancia difusa, un microscopio electrónico de transmisión Marca Philips EMG 300, en los modos de imagen y difracción de electrones; Microscopía de Luz (Meiji ENT), Difracción de Rayos X (Rigaku, modelo Miniflex, utilizando el intervalo  $5^\circ < 2\theta < 80^\circ$  con pasos  $2\theta$  de  $0,02^\circ$  y avance de 2 s/paso), Fluorescencia de Rayos X en Energía Dispersiva con irradiación de la muestra con una fuente

anular de Cd-109 durante 1000 segundos. La adquisición de datos se llevó a cabo con un sistema de espectrometría de rayos X, constituido principalmente por un detector de alta resolución, de Si (Li) marca CANBERRA Modelo SL 30165 (Resolución 165 eV para 5.89 keV) y un Analizador Multicanal PCAII The Nucleus. La evaluación de los espectros e identificación de los elementos presentes en las muestras se hizo utilizando el Software Quantitative X Ray Analysis System (QXAS) proporcionado por el Organismo Internacional de Energía Atómica.

### *Preparación de la muestra para análisis por MET*

Luego de la calcinación, el tamaño de las partículas fueron homogenizadas mediante la molienda de las cenizas en un mortero de ágata. Dichas partículas fueron suspendidas en agua destilada para hacer que las partículas más grandes precipitaran con mayor rapidez, la parte alta de la suspensión, la cual contenía las partículas más pequeñas fueron tomadas con una pipeta Pasteur y colocadas sobre una membrana de parlodion de las rejillas portamuestras. Luego de evaporarse el agua a temperatura ambiente se procedió al análisis morfológico y su microestructura cristalina mediante la Difracción de Electrones de Área Selecta (DEAS).

## 3. Resultados y Discusión

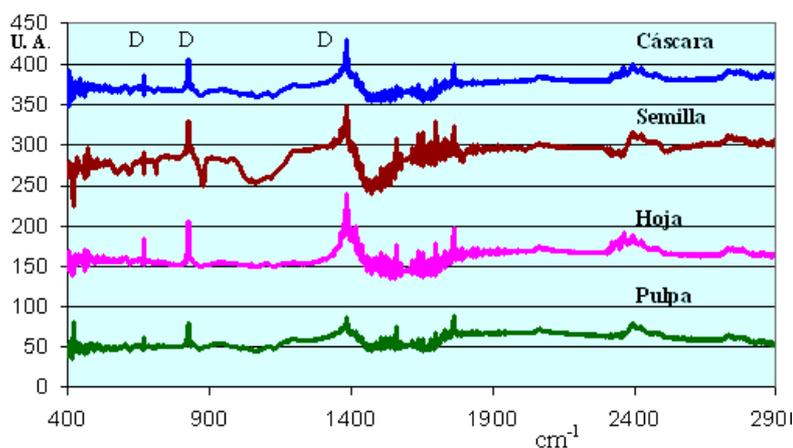
En el análisis por IR, figura 1, no se detecta estructuras orgánicas, pero si se llega a identificar la presencia de CaCO<sub>3</sub> en todas las muestras.

En el análisis por microscopía de luz se observa que las cenizas de cáscara de Noni, figura 2a, presentan un aspecto granular con un diámetro medio de 0,5 mm distinguiéndose una fase oscura y otra clara, ambos duros para la molienda. Las cenizas de las hojas, figura 2b, son de color gris claro con aspecto de polvo muy suave para la molienda. Las cenizas de la pulpa, figura 2c, está constituida de granos oscuros de aproximadamente 0,3 mm mezclados con un polvo blanco, ambos muy suaves para la molienda. En contraste con los casos anteriores, las cenizas de la semilla, figura 2d, tienen un color gris claro y granos blancos de 0,4 mm, suaves a la molienda.

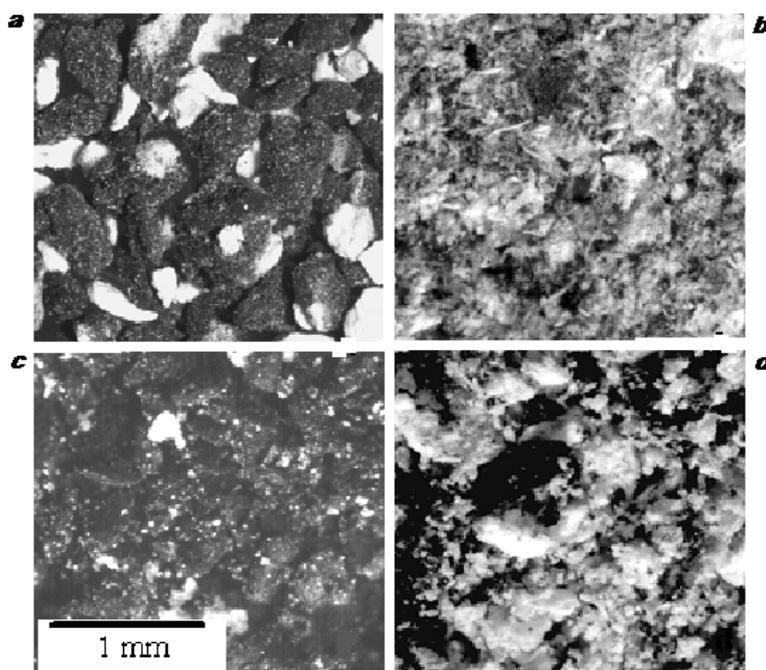
En el estudio de las cenizas por MET de los

diferentes órganos del Noni *M. citrifolia* se ha encontrado abundante material micro y nano estructurado. En la figura 3, en cada caso se muestran las imágenes obtenidas por esta técnica mostrando su respectiva barra de calibración con el propósito de estimar las formas y dimensiones de los diferentes componentes presentados en cada micrografía. Adicionalmente, en algunas de las micrografías se han incorporado en una esquina, su correspondiente patrón de difracción electrónico. Al hacer el estudio de dichos patrones se han encontrado coinci-

dencias con estructuras variadas que se muestran en la tabla 1. Estas se obtuvieron al ser comparadas con las distancias interplanares de la base de datos JCPDF (Joint Committee of Powder Diffraction File) usados para los análisis por difracción de rayos X. Según los espectros de DRX, figura 4, en las cenizas de cáscara se observa la predominancia de oxalato de calcio,  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  y bicarbonato de potasio,  $\text{KHCO}_3$ , siendo la mayor parte de este material de naturaleza amorfa.



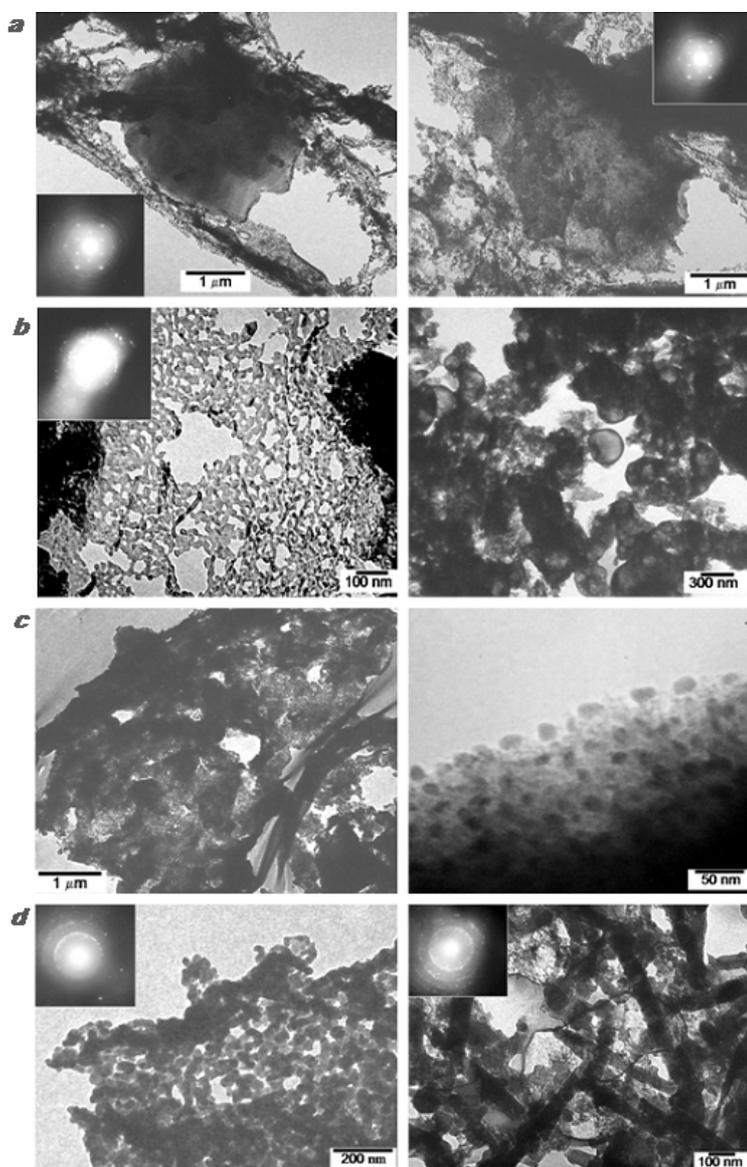
**Figura 1.** Espectros FTIR de cenizas de la cáscara, semilla, hoja y pulpa de *M. Citrifolia*. D corresponde al  $\text{CaCO}_3$ .



**Figura 2.** Imágenes por microscopía de luz a iguales ampliaciones de las cenizas de *M. Citrifolia* a) cáscara, b) hoja, c) pulpa y d) semilla.

**Tabla 1.** Resultados del Análisis por MET.

<i>Muestra</i>	<i>Sólidos cuyas difracciones coinciden con el análisis DEAS</i>	<i>Análisis morfológico por MET</i>
Pulpa	Si, Mn $\beta$ , Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> , C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> , Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> , Al <sub>3</sub> Zr <sub>4</sub> , Mg(OH) <sub>2</sub> , Ta <sub>2</sub> O, Mn, Fe( $\alpha$ ), Ca, Ni(OH), (Li, Al)Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> y C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> NaO <sub>7</sub>	Se observan fragmentos bien cristalizados de gran tamaño, mayores a 3 $\mu$ m .
Semilla	Mn, Si y Fe( $\alpha$ ), Ca, SiO <sub>2</sub> Mn( $\beta$ ), Fe, Ca	Partículas cristalinas del orden de los 20 nm, y casquetes esferoidales de material inorgánico amorfo del orden de los 300 nm de diámetro.
Cáscara	Material Amorfo	Aglomerados de partículas amorfas del orden de 1 $\mu$ m, nanopartículas amorfas menores a 20 nm de tamaño.
Hoja	Ca, Si, Mn, Fe	Se observan cristales alargados de 100 nm de ancho y más de 1 $\mu$ m de longitud sobre un fondo de nanopartículas de 20 nm .

**Figura 3.** Micrografías MET vistas a dos ampliaciones (izquierda y derecha) y patrones de difracción (DEAS, ver esquinas) de cenizas de *M. Citrifolia* **a)** pulpa, **b)** semilla, **c)** cáscara y **d)** hojas.

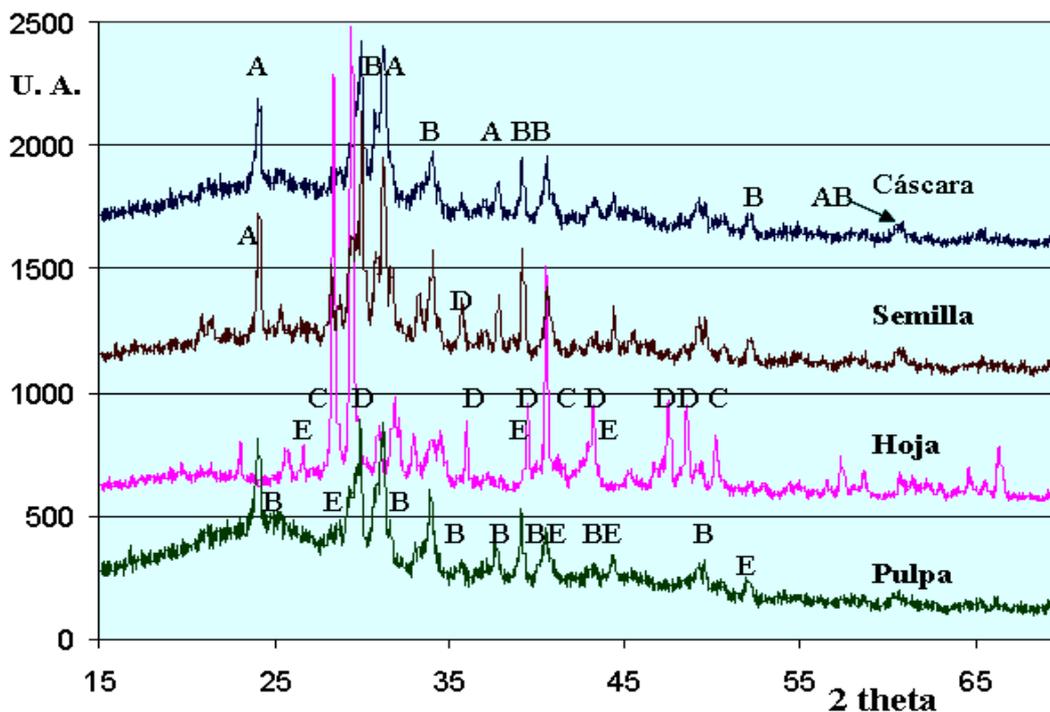


Figura 4. Patrones de Difracción de Rayos X de cenizas de la cáscara, semilla, hoja y pulpa de *M. Citrifolia*. Ver descripción en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de los análisis por difracción de rayos X de cenizas de la cáscara, semilla, hoja y pulpa de la *M. Citrifolia*, referidos a los patrones de difracción de la figura 3.

Etiqueta	Fórmula	Nombre	Ref. JCPDF
A	CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Oxalato de calcio	00-003-0090
B	KHCO <sub>3</sub>	Bicarbonato de potasio	01-086-0912
C	KCl	Cloruro de potasio	01-075-0296
D	CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de calcio	00-004-0636
E	SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silicio	01-083-0539

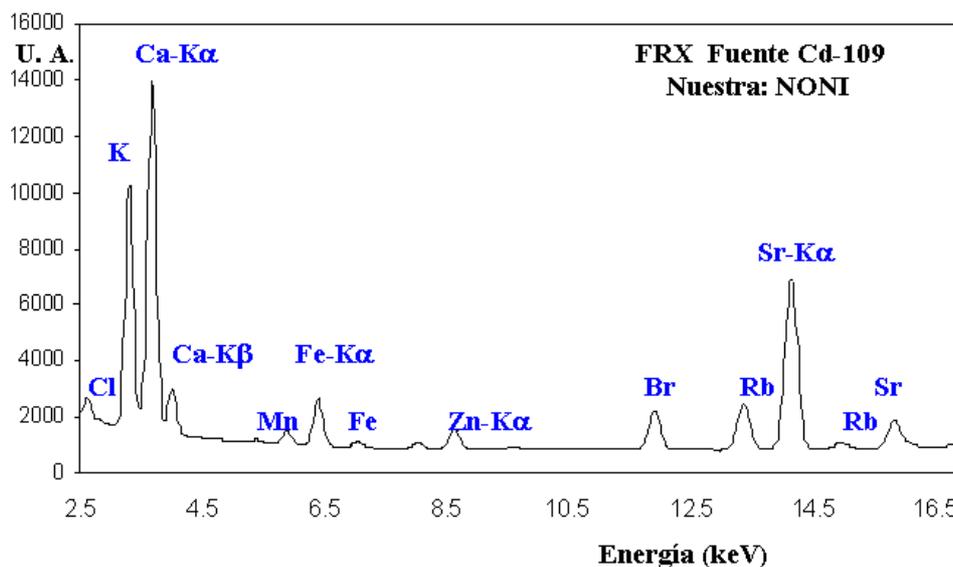


Figura 5. Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X de la muestra de hoja.

En la semilla se nota la predominancia del Oxalato de calcio  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ , bicarbonato de potasio  $\text{KHCO}_3$  y poca cantidad de carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ . En la hoja se nota la abundancia de carbonato de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{KCl}$  y pocas cantidades de  $\text{SiO}_2$  con una alta cristalinidad en toda la muestra. Finalmente, en la pulpa se ve una abundancia de bicarbonato de potasio  $\text{KHCO}_3$ , presencia de  $\text{SiO}_2$  y una porción considerable de material amorfo. Estos datos están agrupados en la tabla 2.

El análisis de las cenizas de las hojas por FRX, figura 5, permite identificar la presencia de potasio, calcio y estroncio y en menor cantidad relativa el cloro, hierro, manganeso, zinc, bromo y rubidio.

#### 4. Conclusiones

Las cenizas de las cáscaras, semillas, pulpa y hojas del noni son mayoritariamente de naturaleza amorfa, excepto las que provienen de la calcinación de las hojas. Los compuestos principales que han sido identificados son: el carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$  (semillas y hojas), oxalato de calcio  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  (cáscaras y semillas), bicarbonato de potasio  $\text{KHCO}_3$  (en todas las muestras excepto en las hojas), cloruro de potasio  $\text{KCl}$  (hojas) y óxido de silicio  $\text{SiO}_2$  (hojas y pulpa). También se han podido observar estructuras nanoparticuladas tanto amorfas como cristalinas de aproximadamente 20 nm en todas las muestras, excepto en las cenizas de hojas.

#### 5. Agradecimientos

A la Bióloga Joaquina Alban Castillo por la identificación de la especie Noni *Morinda citrifolia*.

#### 6. Bibliografía

[1] Kumar S, Saravanan M, Illanchezian S. Antibacterial, antifungal and tumor cell suppression potential of *Morinda citrifolia* fruit extracts. International Journal of Integrative Biology. 2008; 3(1):44-49.

[2] Rodríguez M, Boffill M, Lorenzo G, Sánchez P, López R, Verdecía B, Díaz L. Evaluación preclínica del efecto antiinflamatorio del jugo de *Morinda citrifolia* L. Revista Cubana de Plantas Médicas. 2005; 10(3-4).

[3] Palu A, Seifulla R, West B. *Morinda citrifolia* L. (noni) improves athlete endurance: Its mechanisms of action. Journal of Medicinal Plants Research. 2008; 2(7): 154-158.

[4] Pawlus A, Kinghorn D. Review of the ethnobotany, chemistry, biological activity and safety of the botanical dietary supplement *Morinda citrifolia* (noni). Journal of Pharmacy and pharmacology. 2007; 59: 1587-1609.

[5] Potterat O, Hamburger M. *Morinda citrifolia* (Noni) Fruit-Phytochemistry, pharmacology, Safety. Planta Medica. 2007; 73:191-199.

[6] González S, Estrada A, del Val R, Rosales T, Andrade I, Hernández A. Determinación de compuestos volátiles en compuestos de Noni (*Morinda citrifolia* L.) mediante micro extracción en fase sólida y cromatografía de gases. En: XVII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica. Acapulco marzo 2010. Disponible en: [http://biomedbiotec.homelinux.org/congreso2010/Extensos/Prod\\_naturales/NAT71ALE20091209.pdf](http://biomedbiotec.homelinux.org/congreso2010/Extensos/Prod_naturales/NAT71ALE20091209.pdf)

[7] García C, Kim N, Bich N, Tillan J, Romero A, Darío O, Fuste V. Metabolitos secundarios en los extractos secos de *Passiflora incarnata* L., *Matricaria recutita* L. y *Morinda citrifolia* L. Secondary metabolites in *Passiflora incarnate* L., *Matricaria recutita* L. and *Morinda citrifolia* L. dry extracts. Revista Cubana de Plantas Medicinales. 2009; 14(2). Disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1028-47962009000200004&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1028-47962009000200004&script=sci_arttext)

[8] Simonsen J. Note on the Constituents of *Morinda citrifolia*. Journal of the Chemical Society Transactions. 1920; 117:561-564.

[9] Chunhieng T, Hay L, Montet D. Detailed study of the juice composition of noni (*Morinda citrifolia*) fruits from Cambodia. Fruits. 2005; 60:13-24.

[10] Chan-Blanco Y, Vaillant F, Pérez A, Belleville M, Zúñiga C, Brat P. The Ripening and aging of noni fruits (*Morinda citrifolia* L.): Microbiological Flora and Antioxidant Compounds. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2007; 87: 1710-1716.

- [11] Proctor A. X-ray diffraction and scanning electron microscope studies of processed rice hull silica. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1990; 67(9):576-584.
- [12] Sánchez N, Solache M, Teresa M, Fripiat J, Pacheco G, Saniger J, Bulbulian S. Selectivity of the  $Cd^{2+}/Ca^{2+}$  exchange on modified rice hull silica. *Environmental Technology*. 2009; 30(3):269-275.
- [13] Payá J, Monzó J, Borrachero M, Díaz L, Ordóñez L. Sugar-cane bagasse ash (SCBA): studies on its properties for reusing in concrete production. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2002; 77(3):321-325.
- [14] Frias M, Villar E, Valencia E. Characterisation of sugar cane straw waste as pozzolanic material for construction: Calcining temperature and kinetic parameters. *Waste Management*. 2007; 27:533-538.
- [15] Batra V, Urbonaitė S, Svensson G. Characterization of unburned carbon in bagasse fly ash. *Fuel*. 2008; 87(13-14):2972-2976.

## Neutron emission effects on fragment mass and kinetic energy distribution from fission of $^{239}\text{Pu}$ induced by thermal neutrons

Modesto Montoya<sup>1,2,\*</sup>, Justo Rojas<sup>1,3</sup>, Iván Lobato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Peruano de Energía Nuclear, Departamento de Física, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Apartado postal 14-0149, Lima 14, Perú

### Resumen

Tsuchiya *et al.* han medido los valores del promedio de la energía cinética  $\langle E^* \rangle$ , la multiplicidad neutrónica ( $\bar{\nu}$ ) en función de la masa ( $m^*$ ), así como el rendimiento de masa ( $Y(m^*)$ ) de los fragmentos de la fisión inducida por neutrones térmicos del  $^{239}\text{Pu}$ . La masa y la energía cinética han sido calculadas a partir de los valores medidos de energía cinética de un fragmento y la diferencia de tiempos de vuelo de los fragmentos complementarios. Sin embargo, los mencionados autores no presentan sus resultados acerca de la desviación estándar  $\sigma_{E^*}(m^*)$ . En este trabajo hemos hecho una simulación numérica de ese experimento, suponiendo una distribución inicial de la energía cinética de fragmentos primarios ( $E(A)$ ) con una desviación estándar constante en función de la masa de los fragmentos ( $\sigma_E(A)$ ). Como resultado de la simulación de ese experimento, obtenemos la curva  $\sigma_{E^*}(m^*)$ , la que presenta un ensanchamiento entre  $m^* = 92$ , y  $m^* = 110$ , así como un pico en  $m^* = 121$ .

Keywords: Monte-Carlo; fisión;  $^{239}\text{Pu}$ ; energía cinética de fragmentos; desviación estándar.

### Abstract

The average of fragment kinetic energy ( $\langle E^* \rangle$ ) and the multiplicity of prompt neutrons ( $\bar{\nu}$ ) as a function of fragment mass ( $m^*$ ), as well as the fragment mass yield ( $Y(m^*)$ ) from thermal neutron induced fission of  $^{239}\text{Pu}$ , have been measured by Tsuchiya *et al.*. In that work the mass and kinetic energy are calculated from the measured kinetic energy of one fragment and the difference of time of flight of the two complementary fragments. However they do not present their results about the standard deviation  $\sigma_{E^*}(m^*)$ . In this work we have made a numerical simulation of that experiment, assuming an initial distribution of the primary fragment kinetic energy ( $E(A)$ ) with a constant value of the standard deviation as function of fragment mass ( $\sigma_E(A)$ ). As a result of that simulation we obtain the dependence  $\sigma_{E^*}(m^*)$  which presents an enhancement between  $m^* = 92$  and  $m^* = 110$ , and a peak at  $m^* = 121$ .

Keywords: Monte-Carlo; fission;  $^{239}\text{Pu}$ ; fragment kinetic energy; standard deviation.

### 1. Introduction

The characteristics of the distribution of fission products from thermal-neutron induced fission of heavy nuclei is important for understanding the fission process [1–3]. One of the most important quantities to understand the fission process are the fragment mass and kinetic energy distribution, which is closely related to the topological features in the multi-dimensional potential energy surface [4]. Structures on the distribution of primary (before neutron emission) mass and kinetic energy may be

interpreted by shell effects on potential energy of the fissioning system, determined by the Strutinsky prescription and discussed in [5–7]. One expression of the above mentioned primary kinetic energy distribution is constituted by the average value ( $\langle E \rangle$ ) and the standard deviation ( $\sigma_E$ ) as a function of primary mass ( $A$ ). The difficulty is that only final fragments (after neutron emission) are accessible to experimental measurement.

\*Corresponding author: mmontoya@ipen.gob.pe

At the Lohengrin mass spectrometer at ILL (Grenoble, France), for the neutron-induced fission of  $^{235}\text{U}$ , the final fragment kinetic energy as a function of final mass  $e(m)$  distribution was experimentally studied by Brissot *et al.* [8]. Their results show a pronounced broadening of  $\sigma_e$  around  $m \approx 109$  and  $m \approx 125$ . A Monte Carlo simulation result suggests that the broadening does not exist on the  $\sigma_E$  of the primary fragment kinetic energy expressed as a function of the primary fragment mass. It was shown by means of Monte Carlo simulation made by Montoya *et al.* [8], that the broadening on the  $\sigma_e$  curve around the final fragment masses  $m = 109$  and  $m = 125$  can be reproduced without assuming an ad hoc initial structure on  $\sigma_E(A)$ . Similar experimental results on  $\sigma_e$  from  $^{233}\text{U}$  fission induced by neutrons, carried out by Belhafaf *et al.* [9], present a peak around  $m = 109$  and another around  $m = 122$ . The authors attribute the first peak to the evaporation of a large number of neutrons around the corresponding mass number, i.e. there is no peak on the standard deviation of the primary kinetic energy distribution ( $\sigma_E$ ) as a function of primary fragment mass ( $A$ ). The second peak is attributed to a real peak on  $\sigma_E(A)$ .

However, theoretical calculations related to primary distributions [10] do not suggest the existence of that peak. A Monte Carlo simulation [8] reproduces a pronounced peak on  $\sigma_e(m)$  curve around  $m = 109$ , a depletion from  $m = 121$  to  $m = 129$ , and conclude that there is no peaks on  $\sigma_E(A)$  curve and the observed peaks on  $\sigma_e(m)$  are due to the emitted neutron multiplicity and the variation of the average fragment kinetic energy as a function of primary fragment mass.

More recently, Tsuchiya *et al.* [11] have measured simultaneously fragments and prompt neutrons for fission of  $^{239}\text{Pu}$  induced by thermal neutrons from the Kyoto University Reactor (KUR). For each fission event they measure a fragment energy, the difference of time of flight of complementary fragments and the energy of emitted neutrons. Among other results they present: i) the neutron multiplicity vs. the fragment mass ii) the average neutron energy vs. the fragment mass  $\langle \eta \rangle (m^*)$ , iii) the average of total neutron multiplicity vs. the fragment total kinetic energy,  $\nu^{\text{tot}} \langle \text{TKE} \rangle$ , iv) the slope of

the neutron multiplicity as a function of fragment total kinetic energy,  $-d \langle \nu \rangle / d \langle \text{TKE} \rangle$  vs. the fragment mass and v) the average fragment kinetic energy,  $\langle E^* \rangle$ , vs. fragment mass  $m^*$ . However they don't present the standard deviation of the kinetic energy distribution as a function of fragment mass  $\sigma_E^*(m^*)$ .

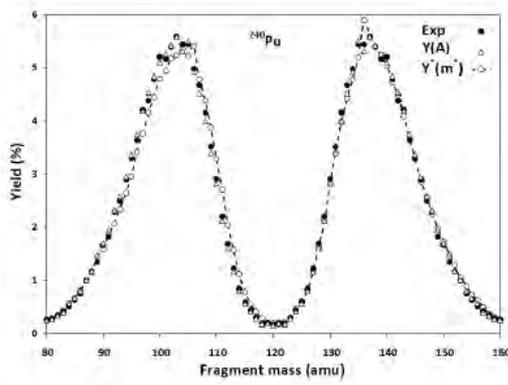
The aim of the present work is to study the perturbation on mass and kinetic energy of fragments, created by neutron emission, which produces a standard deviation (SD) of the distribution of final fragment kinetic energy ( $\sigma_E^*(m^*)$ ) different from the corresponding to the initial one ( $\sigma_E(A)$ ). Using the experimental data obtained by Tsuchiya *et al.* [11] and assuming a constant SD of primary kinetic energy distribution ( $\sigma_E(A)$ ) as input, we made a Monte Carlo simulation of the their experiment; and we calculate the SD of  $E^*$  distribution as a function of  $m^*$ .

## 2. Monte Carlo simulation model

In our Monte Carlo simulation the input quantities are the primary fragment yield ( $Y$ ), the average kinetic energy ( $\bar{E}$ ), the SD of the kinetic energy distribution ( $\sigma_E$ ) and the average number of emitted neutron  $\bar{\nu}$  as a function of primary fragment mass ( $A$ ). The output of the simulation are the mass yield  $\nu$  ( $Y(m^*)$ ), the SD of the kinetic energy distribution ( $\sigma_E^*$ ) and the average number of emitted neutron ( $\bar{\nu}$ ) as a function of fragment mass ( $m^*$ ). Our goal is to clarify if a  $\sigma_E(A)$  with a constant value as input may produce a  $\sigma_E^*(m^*)$  curve with structures. In order to simplify the calculation we assume that i) the  $E$  values obeys a Gaussian distribution, ii) the average number of emitted neutrons  $\bar{\nu}$  corresponds to the fragments with the average value of kinetic energy  $\langle \text{TKE} \rangle$  and iii) for emitted neutron number we take the integer part of:

$$N = 0.5 + \bar{\nu} \left[ 1 - \beta \left( \frac{\text{TKE} - \overline{\text{TKE}}}{\sigma_{\text{TKE}}} \right) \right], \quad (1)$$

where  $\beta$  values are related to the additional excitation energy necessary to emit one more neutron. These values are taken from the extrapolation of results obtained by Tsuchiya *et al.* [11].



**Figure 1.** Simulation results for the primary ( $\Delta$ ) and provisional ( $\circ$ ) mass yields, from fission of neutrons, are presented together with experimental data ( $\bullet$ ), taken from Ref. [11].  $^{239}\text{Pu}$  induced by thermal neutrons.

### 2.1 Simulation process

We make several iterative simulations. For the first simulation we chose the primary values  $Y(A)$ ,  $E(A)$  and  $v(A)$  equal to the corresponding measured quantities  $Y(m^*)$ ,  $E^*(m^*)$  and  $(\bar{v}(m^*))$  (Ref. [11]). The SD of primary fragment kinetic energy distribution as a function of mass,  $\sigma_E$ , is taken equal to 5 MeV. Comparing the final simulated quantities to the experimental results, we get a shift that is corrected with a new ensemble of primary quantities. We repeat this process several times until we get final simulated quantities reasonably close to the measured quantities.

In the simulation, for each primary mass  $A$ , the kinetic energy of the fission fragments is chosen randomly from a Gaussian distribution,

$$P(E) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_E} \exp\left[-\frac{(E - \bar{E})^2}{2\sigma_E^2}\right], \quad (2)$$

where  $P(E)$  is the probability density of energy with average value  $\bar{E}$  and SD  $\sigma_E$ . Furthermore, assuming that the fragments lose energy only by neutron evaporation and not by gamma emission or any other process, recoil effect is negligible, and the final fragment kinetic energy is equal to the measured value (kinetic energy  $E^*$ ), we get the relation,

$$E^* = \left(1 - \frac{N}{A}\right)E, \quad (3)$$

which is one of the quantities measured for

each fission event by Tsushiya *et al.* [11]. As mentioned above, another measured quantity is the time of flight ( $t_c$ ) of the complementary fragment whose distance of flight is  $L_c$ . Then, the fragment velocity is  $v_c = L_c / t_c$ . Having the fragment kinetic energy  $E^*$  (whose corresponding mass is identified by  $m^*$ ) and the velocity of its complementary fragment  $v_c$  (whose mass is identified by  $m_c^*$ ), assuming that linear momentum and mass conservation relations still valid, i.e.

$$m_c^* v_c = \sqrt{2m^* E^*} \quad (4)$$

$$m_c^* + m^* = M_0, \quad (5)$$

and

$$m^{*2} - 2\left(M_0 + \frac{E^*}{v_c^2}\right)m^* + M_0^2 = 0. \quad (6)$$

where  $M_0$  is the fissioning nucleus mass, we obtain a quadratic equation for  $m^*$

from this equation we obtain (7)

$$m^* = M_0 + \frac{E^*}{v_c^2} \left[1 - \sqrt{\frac{2M_0 v_c^2}{E^*} + 1}\right].$$

The other solution ( $m^* > M_0$ ) does not agree with mass conservation condition.

Let  $v$  and  $L$  be the velocity and the length of flight, respectively, of fragments whose kinetic energy is  $E^*$ . If the measured difference of time of flight of complementary fragments ( $\Delta t$ ) is taken, using the relation

$$\Delta T = \frac{L_c}{v_c} - \frac{L}{v}, \quad (8)$$

and the relations (4) and (5), we obtain

$$m^* = B' - \sqrt{B'^2 - C'^2}, \quad (9)$$

where

$$B' = \left(\frac{\Delta T}{L + L_c}\right)^2 E^* + C', \text{ and } C' = \frac{L_c}{L_c + L} M_0$$

From relations (7) and (5) we calculate  $m_c^*$ , and finally, the kinetic energy of complementary mass

$$E_c^* = \frac{1}{2} m_c^* v_c^2. \quad (10)$$

With the ensemble of values corresponding to

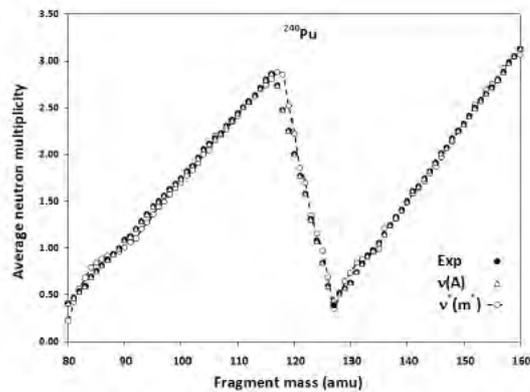
$m^*$ ,  $E^*$  and  $N$ , we calculate  $Y(m^*)$ ,  $E^*(m^*)$ ,  $\sigma_E^*(m^*)$  and  $v(m^*)$ , and the values corresponding to complementary fragments. In order to obtain an acceptable statistics during the simulation, we have considered a total number of fission events of  $^{239}\text{Pu}$  of the order of  $10^8$ , and we have computed the standard deviation of all the relevant quantities by means of the following expression:

$$\sigma^2(m^*) = \frac{\sum_{j=1}^{N_j(m^*)} E_j^{*2}(m^*)}{N_j(m^*)} - \bar{E}^{*2}(m^*),$$

where  $E^*(m^*)$ , is the average value of the kinetic energy of final fragments with a given mass  $m^*$ , and  $N_j(m^*)$  is the number of fission events corresponding to that mass.

### 3. Results and interpretation

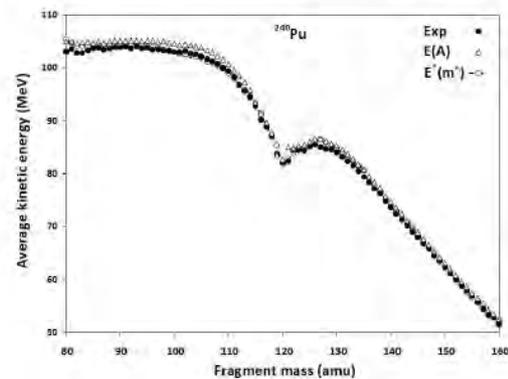
The simulated provisional mass yield  $Y(m^*)$  and the primary mass yield  $Y(A)$  are illustrated in Fig. 1. For fragments with  $m < 103$ ,  $Y(m^*)$  is lower than  $Y(A)$  while for  $m > 103$ ,  $Y(m^*)$  is higher than  $Y(A)$ .



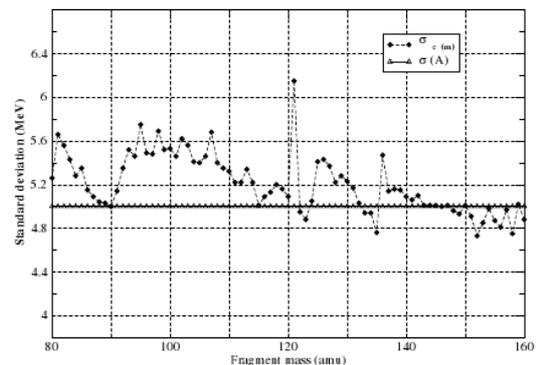
**Figure 2.** The average number of emitted neutrons from fission of from Ref. [11].  $^{239}\text{Pu}$  induced by thermal neutrons: as a function of the primary ( $\Delta$ ) and provisional ( $\circ$ ) fragment mass, both as result of simulation, and experimental extrapolated values ( $\bullet$ ).

The simulated average number of emitted neutron  $v(m^*)$  is approximately equal to  $v(A)$ . See Fig. 2. The plots of the simulated average kinetic energy for the primary and final fragments as function of their corresponding masses are shown in Fig. 3. In general, the simulated average final kinetic energy as a function of measured mass ( $E^*(m^*)$ ) is lower than  $E(A)$ . The standard

deviation of the kinetic energy of fission fragments  $\sigma_E^*$ , calculated from the results of the simulation within the framework of the proposed model is shown in Fig.4. We observe an enhancement of  $\sigma_E^*$  between  $m^* = 92$  and  $m^* = 110$ . As we can see one of the main features is the presence of a sharp peak at  $m^* \approx 121$ , which is due to the 3 MeV jump of primary fragment kinetic energy from  $A = 121$  to  $A = 122$ , see Fig. 3. Actually, we are studying only abrupt parameters variation effects on SD of  $E^*$ -values distribution; it is not necessary to take into account other similar experimental results on  $Y(m^*)$ ,  $v(m^*)$  and  $E^*(m^*)$ .



**Figure 3.** Average kinetic energy of as a function of primary( $\Delta$ ) and provisional ( $\circ$ ) fragment mass, respectively, from fission induced of  $^{239}\text{Pu}$  by thermal neutrons, as a result of simulation in this work, to be compared to experimental data ( $\bullet$ ) from Ref. [11].



**Figure 4.** SD of fragment kinetic energy as a function of primary ( $\Delta$ ) and provisional ( $\circ$ ) fragment mass, respectively, from fission of  $^{239}\text{Pu}$  induced by thermal neutrons, as a result of simulation in this work. Tsuchiya *et al.* did not presented their corresponding experimental data that may be compared with this results.

#### 4. Conclusions

As a result of the simulation of an experiment measuring the average of fragment kinetic energy ( $\langle E^* \rangle$ ) and the multiplicity of prompt neutrons  $\langle \nu \rangle$  as a function of fragment mass ( $m^*$ ), as well as the fragment mass yield ( $Y(m^*)$ ) from thermal neutron-induced fission of  $^{239}\text{Pu}$  made by Tsuchiya *et al.* [11] we obtain the curve  $\sigma_E^*(m)$  which presents an enhancement between  $m = 92$  and  $m = 110$ , and a peak at  $m^* = 121$ . It would be very useful to have the experimental result on the curve  $E^*$ , measured by Tsuchiya *et al.* [11] which may be compared with the result of our simulation of their experiment.

#### 5. References

- [1] Kornilov NV, Hamsch FJ, A.S. Vorobyev AS. Neutron emission in fission. Nuclear Physics A. 2007; 789 (1-4):55-72.
- [2] Quade U, Rudolph K, Skorka S, Armbruster P, Clerc HG, Lang W, Mutterer M, Schmitt C, Theobald JP, Gnennwein F, Pannicke J, Schrader H, Siegert G, Engelhardt D. Nuclide yields of light fission products from thermal-neutron induced fission of  $^{233}\text{U}$  at different kinetic energies. Nuclear Physics A. 1988; 487(1):1-36.
- [3] Wagemans C, Allaert E, Caitucoli F, D'hondt P, Barreau G, Perrin P. Experimental study of some important characteristics of the thermal neutron induced fission of  $^{237}\text{Np}$ . Nuclear Physics A. 1981; 369(1):1-14.
- [4] Möller P, Madland DG, Sierk AJ, Iwamoto A. Nuclear fission modes and fragment mass asymmetries in a five-dimensional deformation space. Nature. 2001; 409:785-790.
- [5] Dickmann F, Dietrich K. On a simple model explanation of shell effects in nuclear fission. Nuclear Physics A. 1969; 129(2):241-258.
- [6] Wilkins BD, Steinberg EP, Chasman RR. Scission-point model of nuclear fission based on deformed-shell effects. Physical Review C. 1976; 14:1832-1836.
- [7] Fan Tie-shuan, Hu Ji-min, Bao Shang-lian. Study of multichannel theory for the neutron induced fissions of actinide nuclei. Nuclear Physics A. 1995; 591(2):161-181.
- [8] Brissot R, Bocquet JP, Ristori C, Granon J, Guet C, Nifenecker H, Montoya M. Kinetic-energy distribution for symmetric fission of  $^{236}\text{U}$ . In: International Atomic Energy Agency. Physics and Chemistry of Fission 1979. Vol II. Vienna: IAEA, 1980. p. 99-110.
- [9] Belhafaf D, Bocquet JP, Brissot R, Ristori Ch, Crancon J, Nifenecker H, Mougey J, Ramamurthy VS. Kinetic energy distributions around symmetric thermal fission of  $\text{U}^{234}$  and  $\text{U}^{236}$ . Z. Physik A - Atoms and Nuclei. 1983; 309(3):253-259.
- [10] Faust HR, Bao Z. Higher moments in the kinetic energy distribution of fission products. Nuclear Physics A. 2004; 736(1-2):55-77.
- [11] Tsuchiya C, Kakagome Y, Yamana H, Moriyama H, Nishio K, Kanno I, Shin K, Kimura I. Simultaneous measurement of prompt neutrons and fission fragments for  $^{239}\text{Pu}(n_{th},f)$ . Journal Nuclear Science and Technology. 2000; 37(11):941-48.
- [12] K. Nishio, M. Nakashima, I. Kimura y Y. Nakagome. Multi-parametric measurement of prompt neutrons and fission fragments for  $^{233}\text{U}(n_{th},f)$ . Journal Nuclear Science and Technology. 1998; 35(9):631-42.

## The development of the $k_0$ method in Peru: Past, present, and future perspectives

Eduardo Montoya<sup>1,\*</sup>, Patricia Bedregal<sup>1</sup>, Pablo Mendoza<sup>1</sup>, Marco Ubillús<sup>1</sup>, Blanca Torres<sup>1</sup>,  
Isac Cohen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470 Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Secretaría de Ciencia,  
Tecnología e Innovación Productiva. Av. Mitre 750 (1870) Avellaneda, Argentina

### Resumen

El método del  $k_0$  se implementó en el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) hacia 1993. Desde mediados de 1994, casi todo el trabajo de análisis por activación neutrónica instrumental en el IPEN se viene realizando mediante el método del  $k_0$ . El establecimiento, aplicaciones, desarrollo y futuro del método en el Perú, se presentan desde una perspectiva dual, retrospectiva / prospectiva. Se presta especial atención sobre algunos aspectos difíciles, tales como eficiencia de conteo, caracterización de la facilidad de irradiación, comportamiento no ideal del espectro neutrónico epitérmico y consistencia de los datos nucleares de entrada.

### Abstract

The  $k_0$  method was implemented at the Peruvian Institute of Nuclear Energy (IPEN), by 1993. Since the middle of 1994, almost all INAA work at IPEN is performed by the  $k_0$  method. The establishment, applications, development and future of the method in Peru are presented from a retrospective and prospective view. Attention is paid to difficult aspects, e. g. counting efficiency, characterization of irradiation facility; non ideal behaviour of the epithermal neutron spectrum and consistency of nuclear input data.

### 1. The antecedents

A relevant reason for the success of the  $k_0$ -method [1] can be found by inspection of the equation used for the calculation of the concentration  $Q_a$  for an analyte "a" through a comparator "c" (All symbols are explained in [2]):

$$Q_a = \frac{(N_p / Wt_m SDC)_a k_{o,Au}(c) \varepsilon_c f(\alpha) + Q_{o,c}(\alpha)}{(N_p / wt_m SDC)_c k_{o,Au}(a) \varepsilon_a f(\alpha) + Q_{o,a}(\alpha)} \quad (1)$$

The last factor of the right side in (1) is very important, because has a buffer action against the uncertainties in the thermal and the non-ideal epithermal neutron fluxes, as well as the thermal ( $n,\gamma$ ) cross sections and the non-ideal resonance integrals. In addition, since only one comparator has to be measured (provided that  $f$  and  $\alpha$  are known), it has intrinsically better performance than the traditional method.

A primary version of the  $k_0$  method of INAA was implemented at the laboratories of IPEN, by 1993. The system was conceived on the basis of a pragmatic treatment of relevant correction factors, like those related to the

non ideal behaviour of the epithermal neutron spectrum [3], neutron self-absorption, neutron temperature, geometric counting efficiency, gamma self shielding and self-coincidences. Since the mid of 1994 nearly all of the INAA activities at the laboratory, which cover different materials: minerals [4], geological and environmental samples (water and biological materials [5]), archaeological ceramics [6-8], are performed by the  $k_0$  method.

### 2. The starting version

The implementation of a basic version of the  $k_0$  method implied to accept some diminution of its versatility and therefore a reduced initial scope of application. The adopted operating procedures and policies included restricted irradiation and counting conditions, nominally identical size, shape and source-detector distance for both comparators and samples, rigorous control of irradiation and decay times, and use of a well thermalized neutron flux. Two comparators ( $^{197}\text{Au}$  and  $^{23}\text{Na}$ ) were chosen, so that to minimize the errors caused by the uncertainties in the  $f$  and

---

\* Correspondencia autor: emontoya@ipen.gob.pe

$\alpha$  values. The accuracy and precision were assessed as proposed by Heydorn [9] and through the routine use of reference materials.

The experimental details have been published elsewhere [10].

### 3. The determination of gamma counting efficiency

The efficiency curve of the detector at 210.7 mm was determined using standard sources of  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{65}\text{Zn}$  and  $^{60}\text{Co}$ , from Canberra. The activities of  $^{165}\text{Dy}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{51}\text{Cr}$  and  $^{198}\text{Au}$  sources, prepared at the laboratory, were measured and used as secondary standards, together with the standard sources of  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  and  $^{65}\text{Zn}$ , for determination of the efficiency curve at 58.2 mm ( $^{133}\text{Ba}$  was not employed in this case, in order to avoid coincidence summing effects). Further details, including an example of efficiency curve, have been published elsewhere [11]. All used sources (samples, comparators and secondary standards for efficiency calibration) were well-defined cylindrical disks, of 9.0 mm diameter and 2 mm height [10].

Although the routine analytical work is based on identical shapes, sizes and source-detector distance for samples and comparator, it is worthwhile mentioning that no relevant geometric effects between point and our samples, comparators or secondary standard sources, were found with the relatively small detector, even at the minimum distance of 58.2 mm. Because of the low efficiency of the detector (15% relative) approximate coincidence corrections factors (COI) can be safely used. COI factors extracted from the De Corte's thesis work [12] were initially used, except for  $^{76}\text{As}$  and  $^{82}\text{Br}$ , for which experimental values were determined. Since 2008, the k0-IAEA software [13] is being used for estimation of COI factors (crystal: 48 mm diameter, 40 mm length, ~ 0.5 mm dead layer, 5 mm end cap to crystal; top cover: 76 mm diameter, 1.5 mm thickness, metallic aluminium; core: 7 mm diameter, 22 mm height), in good agreement with the formerly used values. Gamma spectra were processed with the Canberra Genie v2.1 software and calculations were made by an in house developed, MS Excel application.

### 4. The determination of the f and $\alpha$ parameters

The relevant data for the monitors used in the successive determinations are presented in Table 1. The literature data were extracted from [2, 14-15]. A multi element solution, containing known concentrations of Co(II), Cr(III), Mn(II), Mo(VI) and Sc(III), was prepared by mixing and dilution of gravimetrically determined aliquots of the corresponding standard solutions (See Table 1). The eventual effects of cross contamination were negligible, because of the high purity of the starting standard solutions: for example, the concentrations of Cr, Mn, Mo and Sc in the Co(II) solution were as low as  $\leq 0.02 \mu\text{g} / \text{mL}$ .

Mixed monitors were synthesised by slowly evaporating to dryness 350.0 mg of the multi element solution on 30 mg of high purity cellulose contained in small polyethylene capsules [10]. A calibrated analytical balance was used and the liquid aliquots were weighed in covered capsules, in order to avoid any uncertainty due to the evaporation of liquid. Since the media of the primary standard solutions were nitric acid or water, no losses of the monitor elements as volatile species were expected.

The disk-shaped mixed monitors, together with the metal monitors, were irradiated by  $(939 \pm 1)$  seconds at a thermal neutron flux of  $1.93 \times 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . After appropriate decay times, they were counted with a Canberra GC1518 HPGe detector. All measurements were performed at a crystal – source distance of 58.2 mm, except for the case of  $^{56}\text{Mn}$  (see asterisk in Table 1), which was measured at 210.7 mm. Neutron self shielding factors for the metallic foil monitors were calculated as described by Chilian *et al.* [16].

Because a pneumatic rabbit system was used for irradiations at a thermal power of 10 MW, irradiations under cadmium cover could not be considered. Thus the method of triple bare monitors for the determination of f and  $\alpha$  was initially adopted [17]. The results showed a significant degree of variability, as others have observed [18-20].

Afterwards, it was shown that by irradiation in positions having  $f > 15$ , with gold and sodium as comparators for determining

different groups of elements (classified by the values of their  $Q_0(0)$  factors and effective resonance energies) the  $k_0$  method could tolerate considerable uncertainties in the

values of  $f$  and  $\alpha$ , without introducing unacceptable errors in the analytical results [3].

**Table 1.** Relevant data of the used monitors (M). Concentrations in mg/L refer to standard solutions.

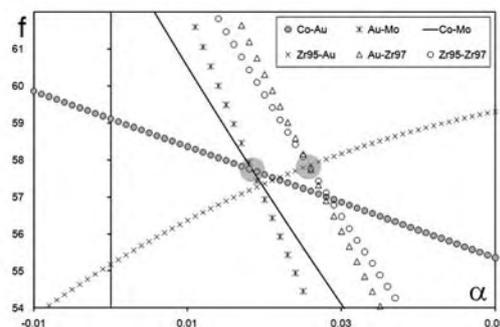
<i>M</i>	Description / source / etc.	<i>w</i> ( $\mu\text{g}$ )	$\frac{u_w}{(k=1)}$ ( $\mu\text{g}$ )	Nuclide	<i>E<math>\gamma</math></i> (keV)	Dead time %	$\frac{u_{peak}}{(k=1)}$ (%)	counting efficiency	COI
Au	IRMM-530R A $G_{th}=1.0000$ , $G_{epi}=0.9961$	14.724	0.088	Au-198	411.8	4.2	0.13	0.00584	1
Co	1000 mg/L, Merck CertiPUR.	114.40	0.23	Co-60	1173.2	0.8	0.15	0.00202	0.9852
Co	1000 mg/L, Merck CertiPUR.	114.40	0.23	Co-60	1332.5	0.8	0.16	0.00179	0.9822
Cr	1000 mg/L, Merck CertiPUR.	173.30	0.87	Cr-51	320.1	0.8	0.26	0.00776	1
Fe	Foil, 20 $\mu\text{m}$ thick, 99.9 % pure. $G_{th}=0.9960$ , $G_{epi}=0.9997$	20060	20	Fe-59	1099.2	0.2	0.27	0.00215	0.9983
Fe	Foil, 20 $\mu\text{m}$ thick, 99.9 % pure.	20060	20	Fe-59	1291.6	0.2	0.30	0.00185	1.0005
Lu	0.1 % Lu-Al wire, 250 $\mu\text{m}$ $\phi$ .	7.340	0.010	Lu-177	208.4	0.5	0.18	0.0121	0.9951
Mn	1010 mg/L, Accu Trace.	5.787	0.029	Mn-56*	846.8	0.9	0.08	0.000330*	0.9992*
Mn	1010 mg/L, Accu Trace.	5.787	0.029	Mn-56*	1810.7	0.9	0.24	0.000162*	0.9976*
Mo	1000 mg/L, Merck CertiPUR.	350.4	1.8	Mo-99	181.1	0.8	0.45	0.0136	0.9805
Mo	1000 mg/L, Merck CertiPUR.	350.4	1.8	Mo-99	739.5	0.8	0.42	0.00314	0.9816
Sc	1010 mg/L, Aldrich.	5.840	0.029	Sc-46	889.3	0.8	0.13	0.00263	0.982
Sc	1010 mg/L, Aldrich.	5.840	0.029	Sc-46	1120.5	0.8	0.14	0.00211	0.9807
Zn	Foil, 100 $\mu\text{m}$ thick, 99.9 % pure. Merck. $G_{th}=0.9976$ , $G_{epi}=0.9752$	16823	17	Zn-65	1115.5	0.6	0.19	0.00212	1
Zr	Foil, 127 $\mu\text{m}$ thick, 99.8 % pure, Johnson Matthey. $^{94}\text{Zr}$ : $G_{th}=0.9996$ , $G_{epi}=0.9875$ $^{96}\text{Zr}$ : $G_{th}=0.9996$ , $G_{epi}=0.9665$	42430	85	Zr-95	742.2	2.8	0.29	0.00313	1
Zr	Foil, 127 $\mu\text{m}$ thick, 99.8 % pure, Johnson Matthey	42430	85	Nb-97m	743.4	2.8	0.11	0.00312	1

\* Mn-56 counted at a crystal source distance of 210.7 mm

By that time, the configuration of the core of the 10 MW research reactor changed frequently. Therefore, the need of alternative methods for the characterisation of the irradiation sites was apparent. Besides the conditions of simplicity, reliability, accuracy and robustness, an additional requirement was that these alternative methods could retrieve direct information about the consistency of the neutron flux monitors. A first method for simultaneous determination of  $f$  and  $\alpha$  was developed [21]. Briefly, the method consists of the simultaneous irradiation of a set of four or more bare monitors, and the determination of the normalised specific experimental activities for each one. Then, for the most convenient pairs of monitors, a whole set of apparent values of  $f(\alpha)$  as a function of  $\alpha$  is generated, by application of equation (2). Finally, the curves  $(\alpha, f(\alpha))$  are plotted, and the best values can be found by averaging of the different  $f$  values defined by the intersections

of the curves (which implies the determination of  $\alpha$ ).

$$f(\alpha) = \frac{\frac{A_{esp,2}}{k_{o,2}\epsilon_2} Q_{o,1}(\alpha) - \frac{A_{esp,1}}{k_{o,1}\epsilon_1} Q_{o,2}(\alpha)}{\frac{A_{esp,1}}{k_{o,1}\epsilon_1} - \frac{A_{esp,2}}{k_{o,2}\epsilon_2}} \quad (2)$$



**Figure 1.** Simultaneous determination of  $f$  and  $\alpha$ , as described in [21]. Crossing points for the  $^{60}\text{Co}$ - $^{198}\text{Au}$ ;  $^{95}\text{Zr}$ - $^{97}\text{Zr}$ - $^{198}\text{Au}$  indicated by grey circles.

Figure 1 shows a recent example of application of the method, which corresponds

to a simultaneous irradiation of Co, Zr, Mo and Au monitors. The sets  $^{94}\text{Zr}$ - $^{96}\text{Zr}$ - $^{197}\text{Au}$  and  $^{59}\text{Co}$ - $^{98}\text{Mo}$ - $^{197}\text{Au}$  noticeably behave as two different systems (grey circles). Following Koster-Ammerlaan *et al* [20], a Monte Carlo simulation of 1000 trials were performed, randomly varying the activities of all monitors by  $\pm 0.5\%$ . The values obtained for  $f$  and  $\alpha$  were respectively  $57.2 \pm 1.2$  and  $0.0279 \pm 0.0037$  ( $1\sigma$ ), which demonstrates that, whenever the counting statistics is good, the method provides reliable values. A comparison between the distributions and the data shown in [20] and our results, indicates that the use of six monitors lead to a considerable better precision in the characterization of the reactor facility.

The problem inherent to this method is that, like the three bare monitors method, it is based on equation (2) so that it does not allow a direct assessment of the performance of each individual monitor. Thus, a second method was developed, which is a modification of that developed by Arribére and Kestelman [22] for the simultaneous determination of the thermal and epithermal fluxes. In that method, the specific activity of a monitor  $i$ , evaluated at infinite irradiation and zero decay times, is expressed as

$$g(T)\sigma_i G_{th} \phi_t + [I(\alpha)_i G_{epi} + \Delta I_i G_{th}] \phi_e = A_i \quad (3)$$

where  $g(T)$  is the Westcott's factor and  $\Delta I_i = 0.56\sigma_0$  is the resonance integral between  $E = \mu kT$  and the cadmium cut-off energy, provided that no resonance peaks exist in this interval. The equation (3) is used to calculate, for each monitor, a series of values of the thermal neutron flux as a function of a series of arbitrarily given values for the epithermal one. The values of the thermal and epithermal fluxes are calculated from the average of the values obtained at all the crossing points.

The modification proposed is as follows: provided that the input data of cross sections, resonance integrals and Westcott's factors are accurate, a right value of the  $\alpha$  parameter should lead to a single crossing point for the curves corresponding to all the  $(n,\gamma)$  reactions, thus implying that all the monitors should render the same values for the thermal and the epithermal neutron fluxes. If, in addition, the value of the Westcott's factor

for  $^{176}\text{Lu}$  is correct, the curve for the reaction  $^{176}\text{Lu}(n,\gamma)^{177}\text{Lu}$  should also cross the other curves at the same point. Thus,  $\alpha$  and  $T$  are adjusting parameters of the crossing point between all curves, fact that provides the basis for their calculation. In practice, all the curves do not cross the others at exactly the same point, due to experimental uncertainties and some degree of inconsistency in the input data.

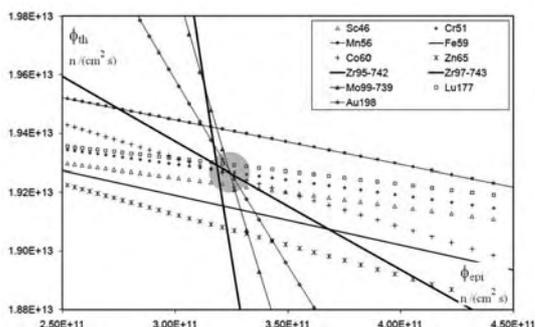
The values of  $\alpha$  and neutron temperature are adjusted until a minimum value is obtained for the variance of the mean thermal neutron flux or, alternatively, when an arbitrary selected crossing point is reached. Then the value of  $f$  is calculated as the ratio of the average values for the thermal and epithermal neutron fluxes.

An example of the application of the new method was performed, using simultaneously  $^{45}\text{Sc}$ ,  $^{50}\text{Cr}$ ,  $^{55}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Fe}$ ,  $^{59}\text{Co}$ ,  $^{64}\text{Zn}$ ,  $^{94}\text{Zr}$ ,  $^{96}\text{Zr}$ ,  $^{98}\text{Mo}$ ,  $^{176}\text{Lu}$  and  $^{197}\text{Au}$ , as monitors. The input data was taken from [14, 23]. It was observed that the sets  $^{94}\text{Zr}$ - $^{96}\text{Zr}$ - $^{197}\text{Au}$  and  $^{50}\text{Cr}$ - $^{98}\text{Mo}$ - $^{197}\text{Au}$  behaved different, and that the thermal neutron fluxes determined by the set of  $1/v$  monitors spread over an interval of about 6%. Moreover, the fitting of the set  $^{50}\text{Cr}$ - $^{98}\text{Mo}$ - $^{197}\text{Au}$  required a neutron temperature of 24 °C, which was not in consonance with the expected value, slightly higher than 37 °C (nominal moderator temperature). These disappointing results were difficult to explain, because the uncertainty budget [24] was low enough to assure an adequate application.

A second test was accomplished, applying the thermal cross sections and resonance integrals published by Mughabghab [25] to the same experimental data. Other literature data were extracted from the following references: atomic weights, [23]; isotopic abundances, effective resonance energies, half lives and gamma intensities, [2, 14-15]. The results showed that the agreement between the  $1/v$  monitors considerably improved, with the only astonishing departure of  $^{64}\text{Zn}$ . The  $^{177}\text{Lu}$  curve agreed with the set of  $1/v$  monitors, for a neutron temperature of 40 °C, and the agreement between the Zr, Mo and Au monitors was also pretty good; nevertheless, the difference between this set and the  $1/v$  monitors

persisted.

On the basis of the aforementioned tests, it was decided to keep the data from [2, 14-15] for  $^{64}\text{Zn}$ ,  $^{94}\text{Zr}$  and also for the thermal cross section of  $^{96}\text{Zr}$ , whereas the data published in ref. [25] were selected for the remaining monitors and for the resonance integral of  $^{96}\text{Zr}$ . The results (Figure 2) show that that this eclectic choice of nuclear data leads to a good agreement for all the used monitors.



**Figure 2.** Consistent determination of  $f$ ,  $\alpha$  and neutron temperature. Selected crossing point:  $^{60}\text{Co}$  –  $^{99}\text{Mo}$  –  $^{198}\text{Au}$ . Results:  $f = 60.9 \pm 1.2$ ,  $\alpha = 0.033 \pm 0.004$ , neutron temperature =  $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$  ( $1\sigma$ ).

A relevant feature is that the new crossing points for the  $^{60}\text{Co}$ – $^{99}\text{Mo}$ – $^{198}\text{Au}$  and the  $^{51}\text{Cr}$ – $^{99}\text{Mo}$ – $^{198}\text{Au}$  curves are nearly coincident; both are close to the crossing point for the set:  $^{95}\text{Zr}$ – $^{97}\text{Zr}$ – $^{198}\text{Au}$ . In addition, the  $^{177}\text{Lu}$  curve agrees with the whole set monitors for a neutron temperature of  $40^\circ\text{C}$ .

Since the beginnings of 2008, the  $^{59}\text{Co}$ – $^{98}\text{Mo}$ – $^{197}\text{Au}$  set is being using at the authors' laboratory, instead of the  $^{50}\text{Cr}$ – $^{98}\text{Mo}$ – $^{197}\text{Au}$  set proposed by Koster-Ammerlaan *et al.* [20]

for routine determinations of the  $f$  and  $\alpha$  parameters. Although the  $^{59}\text{Co}$  is not a pure  $1/v$  precursor, it is a neutron flux standard monitor; both its thermal cross section and resonance integral values for the capture reaction are very well determined. In contrast, our data indicates that the right value of the thermal cross section for  $^{50}\text{Cr}$  seems to be more likely 15.9 barns [25] rather than 15.1 barns, as reported in [14]. The relative difference of about 5% between those values is high enough as to produce discrepant values for  $f$ ,  $\alpha$  and neutron temperature, when different sets of neutron flux monitors are used.

The determination of  $k_0$  values from a set of data is a useful tool to check the overall quality of an experiment [26]. Consequently, a good agreement between experimental and literature  $k_0$  values is an indicator of the suitability of the experimental conditions and the input data. The experimental  $k_0$  values for the studied monitors, determined from the values:  $f = 60.9$ ,  $\alpha = 0.033$ , and neutron temperature =  $40^\circ\text{C}$  (Figure 2) are shown in Table 2. All the values obtained from the experimental data of the present work are in good agreement with the theoretical values calculated from the nuclear data taken from [25], while the agreement with the values reported in [15] exhibit some cases with deviation  $\geq 3\%$ , (data marked with an asterisk). The discrepancies observed in the present work for the  $k_0$  values of Cr and Sc are in agreement with those reported by Molnár [27].

**Table 2.** Comparison between the  $k_0$  values obtained in the present work, with those reported in the literature, and the values calculated from atomic and nuclear data.

Nuclide	$E$ (keV)	$k_0$ observed	$k_0$ literature [20]	$k_0$ calculated [24]	$k_0$ observed/ $k_0$ literature	$k_0$ observed/ $k_0$ calculated
Co-60	1173.2	1.312E+00	1.32E+00	1.317E+00	0.9941	0.9967
Co-60	1332.5	1.316E+00	1.32E+00	1.318E+00	0.9971	0.9987
Cr-51	320.1	2.727E-03	2.62E-03	2.732E-03	1.0407 *	0.9980
Fe-59	1099.2	7.698E-05	7.77E-05	7.695E-05	0.9907	1.0004
Fe-59	1291.6	5.839E-05	5.93E-05	5.938E-05	0.9846	0.9833
Lu-177	208.4	6.930E-02	7.14E-02	7.111E-02	0.9706	0.9746
Mn-56	846.8	5.094E-01	4.96E-01	5.001E-01	1.0271	1.0186
Mn-56	1810.7	1.364E-01	1.35E-01	1.375E-01	1.0107	0.9921
Mo-99	181.1	4.363E-05	4.15E-05	4.377E-05	1.0513 *	0.9968
Mo-99	739.5	8.799E-05	8.46E-05	8.740E-05	1.0401 *	1.0067
Sc-46	889.3	1.256E+00	1.22E+00	1.264E+00	1.0294	0.9937
Sc-46	1120.5	1.261E+00	1.22E+00	1.264E+00	1.0338 *	0.9979
Zn-65	1115.5	5.662E-03	5.72E-03	5.730E-03	0.9898	0.9881
Zr-95	742.2	2.006E-04	2.00E-04	2.010E-04	1.0032	0.9984
Zr-97	743.4 (Nb-97m)	1.309E-05	1.24E-05	1.319E-05	1.0554 *	0.9922

## 5. Present and future of $k_0$ -based INAA on the applied research in Peru

Some examples of the current participation of the authors' laboratory in applied research projects, mostly connected with the fields of archaeology and environmental monitoring, have already been referred [4 - 8]. A common feature of both fields is the need of processing large batches of samples, and to produce reliable results for the concentrations of a number of elements per sample. While the participation and the impact of the NAA technique in environmental studies will be always somewhat hindered because some limitations (e.g. its unsuitability for determining lead) the increasing participation in archaeological projects, as the main analytical tool, is one of the best strategic opportunities, particularly because of the importance of this kind of studies in Peru.

It is possible to affirm that the main proportion of the INAA activities at the authors' laboratory in the future will be performed by the  $k_0$  method. These activities will not restrict to the accomplishment of the analytical task: a permanent research related to the own method is and will be always necessary to ensure its continuous improving and updating. In that sense, the laboratory will intend to contribute to this progress by an active participation in forthcoming developments.

## 6. Acknowledgements

The authors wish to thank G. Kennedy for providing his MS Excel application for the calculation of neutron self-shielding factors and R. Lidnstrom, for supplying some high purity Fe foils.

## 7. References

[1] Simonits A, De Corte F, Hoste J. J. Radioanal. Chem. 1975; 24:31-46.  
[2] De Corte F. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2003; 257:493-499.  
[3] Montoya Rossi EH, Cohen IM, Mendoza P, Torres B, Bedregal P. J. Radioanal. Nucl. Chem. 1999; 240:475-479.  
[4] Torres B, Montoya E, Mendoza P, Bedregal P, Ubillús M, Olivera P. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2003; 257:597-601.  
[5] Sabino CVS, Montoya Rossi EH. Proceedings of a 2<sup>nd</sup> International  $k_0$ -Users

Workshop. Ljubljana: Slovenia; Sep 30 – Oct 03 1996. p. 111-114.

[6] Montoya E, Glowacki M, Zapata, J, Mendoza P. Chemical characterization of archaeological ceramics using  $k_0$  based INAA: A study in the production and distribution of middle horizon pottery from Cuzco, Peru. In: International Atomic Energy Agency. Nuclear Analytical Techniques in archaeological investigations. TRS No. 416. Vienna: IAEA; 2003. p. 163-183.

[7] Delgado M, Olivera P, Montoya E, Bustamante A. Archaeometry. 2007; 49:403-412.

[8] Alvarez RP, Van Espen PJM, Pla RR, Montoya E, Arrazcaeta R, Torres PPG, Celaya M. Journal of Trace and Microprobe Analysis. 2007; 21:677-696.

[9] Heydorn, K Aspects of precision and accuracy in neutron activation analysis. RISO-R-419. Riso National Laboratory, Roskilde: Denmark; 1980.

[10] Montoya E, Mendoza P, Torres B. Implementation and evaluation of limited version of the INAA- $k_0$  standardization method. Proceedings of a 2<sup>nd</sup> International  $k_0$ -Users Workshop. Ljubljana: Slovenia; Sep 30 – Oct 03 1996. p. 148-151.

[11] Bedregal P, Mendoza P, Ubillús M, Montoya E.  $k_0$ -INAA method accuracy using Zn as comparator. Nucl. Instr. and Meth. A. [In Press].

[12] De Corte F. The  $k_0$ -standardization method, a move to the optimization of neutron activation analysis. Rijksuniversiteit, Gent; 1987.

[13] Rossbach M, Blaauw M, Bacchi MA, Xilei Lin. J. Radioanal. Chem. 2007; 274: 657-662.

[14] Kolotov VP, De Corte F. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2003; 257:501-508.

[15] De Corte F, Simonits A. Atomic Data and Nuclear Data Tables. 2003; 85:47-67.

[16] Chilian M, St-Pierre J, Kennedy G. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2008; 278:745-749.

[17] De Corte F, Sordo-El Hamami K, Moens L, Simonits A, De Wispelaere A, Hoste J. J. Radioanal. Chem. 1981; 62(1-2):209-255.

[18] Bode P, Blaauw M, Obrušnik I. J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles. 1992; 157(2): 301-312.

[19] Khoo KS, Sarmani SB, Tan CH, Ti KL. Proc. 12<sup>th</sup> MTAA. Hachioji: Japan; September 16-21 2007. Tokyo Metropolitan University. p. 124.

- [20] Koster-Ammerlaan MJJ, Bacchi MA, Bode P, De Nadai EA. *Appl. Radiation Isotopes*. 2008; 66:1964-1969
- [21] Cohen IM, Furnari JC, Montoya EH, Arribere MA, Kestelman AJ, Mendoza P, Torres B. *Proceedings of a 2<sup>nd</sup> International k<sub>0</sub>-Users Workshop*. Ljubljana: Slovenia; Sep 30 – Oct 03 1996. p. 94-97.
- [22] Arribére MA, Kestelman AJ. *Proc. Workshop on Applications of k<sub>0</sub> and other parametric methods of INAA*. Lima: Peru, March 13-24 1995. IAEA – ARCAL IV, (in Spanish), p.94-99.
- [23] Wieser ME. *Pure Appl. Chem.* 2006; 78:2051-2066.
- [24] Smodis B, Bucar T. J. *Radioanal. Nucl. Chem.* 2006; 269:311-316.
- [25] Mughabghab SF. *Thermal neutron capture cross sections, resonance integrals and g-Factors*. INDC(NDS)-440 Distr. PG+R; IAEA, February 2003.
- [26] Heydorn K. J. *Radioanal. Nucl. Chem.* 2000; 244:7-15.
- [27] Molnár GL. J. *Radioanal. Nucl. Chem.* 2000; 244:27-33.

## **$k_0$ -INAA method accuracy using Zn as comparator**

Patricia Bedregal\*, Pablo Mendoza, Marco Ubillús, Eduardo Montoya

Departamento de Química, Instituto Peruano de Energía Nuclear. Av. Canadá 1470,  
Lima 41, Perú

### **Resumen**

Se presenta una evaluación de la exactitud del análisis por activación neutrónica según el método del  $k$  sub cero, usando zinc laminado como comparador. Se ha encontrado una buena precisión intra e inter analistas, así como un buen grado de veracidad para la mayoría de elementos. Se describe también la determinación de parámetros experimentales importantes, tales como la determinación de la eficiencia de conteo, coincidencias verdaderas  $\gamma$ - $\gamma$ , preparación del comparador y aseguramiento / control de la calidad.

### **Abstract**

An evaluation of the accuracy in the application of the  $k_0$ -INAA method using Zn foil as comparator is presented. It was found a good agreement in the precision within analysts and between them, as well as in the assessment of trueness for most elements. The determination of important experimental parameters like gamma peak counting efficiency,  $\gamma$ - $\gamma$  true coincidence, comparator preparation and quality assurance/quality control, are also described and discussed.

## **1. Introduction**

It is well known that the number of users of the  $k_0$  NAA method has been increased in the last years [1-3]. Moreover, many laboratories have contributed to upgrade the method in several ways; e. g. improving or recalculating the values of nuclear constants involved in the method [4-5], developing alternative methods for the determination of  $f$  and  $\alpha$  parameters, true coincidence and neutron self shielding corrections, development of software, etc. [6-10]. All these efforts have contributed to the accuracy of the method and to enhance its potentiality and world wide acceptance. In addition to the mentioned parameters, the selection and preparation of comparators play an important role, since it is necessary to accurately know the mass and nuclear constants. Some systematic errors could occur in the preparation of the comparator due to the use of impure reagents, non stoichiometry and evaporation losses, imprecision of micropipette, use of non calibrated balances, reagents contamination and instability of standard solutions used. Some of these factors were avoided in many laboratories through the use of the set  $^{198}\text{Au}$  -  $^{95}\text{Zr}$  -  $^{97}\text{Zr}$  -  $^{177}\text{Lu}$  [11], where gold is used as flux monitor and comparator.

Other laboratories have already used Zn as comparator in the form of a solution [12]. In our laboratory, since the  $k_0$  method

implementation, a sodium standard solution has been used as comparator, due to its better performance respect to the non-ideal behaviour of the epithermal flux [13].

However considering the time stability, availability, prevention of systematic errors described above, low cost, the possibility of doing measurements at any time with good counting statistics and lower production of waste material, it was decided to explore the use of Zn foil as comparator. Despite the long half-life of  $^{65}\text{Zn}$ , all mentioned advantages compensate the practical impossibility to use it again. The performance obtained for the Zn foil as  $k_0$ -based INAA comparator, is reported in the present paper.

## **2. Experimental**

### *2.1. Sample preparation*

To evaluate the fitness for purpose in terms of accuracy (precision + trueness) two analysts participated in the analysis. Each one did six replicate determinations on three reference materials, as indicated in table 1.

200 mg of sample were placed in clean polyethylene vials of 6.6 mm of height and 9.6 mm of diameter, producing a well defined cylindrical disk of a 9.0 mm diameter and 2 mm height. The vial is sealed using heat to be

---

\* Corresponding author: pbedregal@ipen.gob.pe

conditioned for the irradiation capsule.

## 2.2. Comparator preparation

Zn foils were prepared from zinc granular 99.9 % purity (Merck pro analysi). The zinc granular was cleaned with diluted nitric acid and pressed using a hydraulic press system to get a first foil of 0.2 mm of thickness and

0.10 g mass approximately. After that and using a small punch drill the foils were cut in small discs of 0.030 g, pressed again and cut once more to obtain foils of 0.10 mm of thickness and 0.010 g of mass. The final discs were 6 mm diameter.

All mass determination were performed using a calibrated balance ( $d = 0.01$  mg).

**Table 1.** Reference material values, in  $\mu\text{g/g}$ . \*, in %.

Element	SRM 679 Brick clay [14] $\pm U$	Ohio red clay [15] $\pm s$	SRM 1633b Coal fly ash [16] $\pm U$
As		$14.6 \pm 0.6$	$135.0 \pm 1.5$
Ba	$432.2 \pm 9.8$	$651 \pm 51$	$720 \pm 13$
Ce	(105)	$108 \pm 13$	$192.7 \pm 2.1$
Co	(26)	$22.0 \pm 1.3$	$49.6 \pm 0.5$
Cr	$109.7 \pm 4.9$	$88.0 \pm 7.0$	$196.0 \pm 2.2$
Cs	(9.6)	$10.7 \pm 0.6$	$10.74 \pm 0.14$
Eu	(1.9)	$1.70 \pm 0.15$	$4.12 \pm 0.05$
Fe*	$9.05 \pm 0.21$	$5.24 \pm 0.20$	$7.71 \pm 0.09$
Hf	(4.6)	$7.28 \pm 0.39$	$6.82 \pm 0.09$
K*	$2.433 \pm 0.047$	$3.45 \pm 0.49$	$1.949 \pm 0.022$
La	NR	$52 \pm 2$	$93.7 \pm 1.0$
Lu	NR	$0.62 \pm 0.08$	$1.170 \pm 0.027$
Na*	$0.1304 \pm 0.0038$	$0.142 \pm 0.006$	$0.2011 \pm 0.0022$
Nd	NR	$46 \pm 3$	$85 \pm 5$
Rb	(190)	$176 \pm 7$	$145 \pm 4$
Sb	NR	$1.38 \pm 0.19$	$5.10 \pm 0.08$
Sc	(22.5)	$18.24 \pm 0.31$	$41.22 \pm 0.44$
Sm	NR	$8.9 \pm 0.8$	$19.17 \pm 0.22$
Ta	NR	$1.54 \pm 0.36$	$1.80 \pm 0.04$
Tb	NR	$1.3 \pm 0.4$	$2.57 \pm 0.06$
Th	(14)	$15 \pm 1$	$25.64 \pm 0.28$
U	NR	$3.01 \pm 0.28$	$8.61 \pm 0.22$
Yb	NR	$4.28 \pm 0.10$	$7.62 \pm 0.17$

NR: not reported.

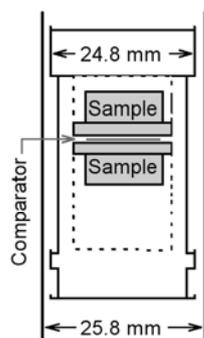
Results in brackets are non certified values.

## 2.3. Irradiation, measurement and data processing

Comparators were inserted between samples and piled into a polyethylene capsule, (figure 1) to be irradiated using a pneumatic transfer system of the 10 MW nuclear research reactor at IPEN, as described elsewhere [17]. The irradiation was done during 30 min at 10 MW power of reactor with a nominal thermal neutron flux of  $1.9 \cdot 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  and an epithermal neutron flux of  $3.2 \cdot 10^{11} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

After a decay time of 5 days, a first counting of samples was performed by 5000 – 6000 seconds using the HPGe detector (Canberra GC 1518; relative efficiency = 15%, FWHM

= 1.8 keV at 1332.5 keV  $^{60}\text{Co}$ ). The comparators were measured by 1000 seconds after 6 decay days. Both measurements were done at a distance of 58.2 mm from the detector cover. Under these conditions the nuclides  $^{76}\text{As}$ ,  $^{42}\text{K}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{239}\text{Np}$ ,  $^{122}\text{Sb}$ ,  $^{153}\text{Sm}$  and  $^{175}\text{Yb}$  were determined. A second counting was performed after a decay time of 15 – 17 days by 10000 seconds using the HPGe detector (Canberra GC 7019; relative efficiency = 70%, FWHM = 1.9 keV at 1332.5 keV  $^{60}\text{Co}$ ). The comparators were counted after a decay time of 10 days by 600 seconds. In this case the distance from the detector was 12.5 mm. The nuclides determined were  $^{131}\text{Ba}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{181}\text{Hf}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{147}\text{Nd}$ ,  $^{86}\text{Rb}$ ,  $^{46}\text{Sc}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{182}\text{Ta}$ ,  $^{160}\text{Tb}$ , and  $^{233}\text{Pa}$ .



**Figure 1.** Arrangement of sample and comparator in the polyethylene irradiation capsule.

Gamma spectrum analysis was done using the Canberra software Genie 2000 (v 2.1) and for concentration calculations, an in house developed software application was used, based in a excel spreadsheet and macros written in the Visual Basic for Applications (VBA) tool from Microsoft [18].

#### 2.4. Parameters and corrections factors

The  $k_0$  factors used for concentration calculation as well as the other relevant nuclear data ( $Q_0$ ,  $\hat{E}_r$ ,  $T_{1/2}$ , isotopic abundance, etc) were adopted from [19].

The flux variation inside the capsule was studied and corrected in the final result. This variation is not more than 1.3%.

The photopeak efficiency curves were determined for both detectors, at two geometries for each detector: one of them is "reference" ( $G_{Ref}$ ) and the other one is "routine" ( $G_{Rout}$ ). The  $G_{Ref}$  for the used detectors are 210.7 mm for GC1518 and 200 mm for GC7019 detector, distance from the detector end cap. These geometries were evaluated using standard sources with known activities in a range of 88 – 1810 keV:  $^{54}Mn$ ,  $^{109}Cd$ ,  $^{65}Zn$ ,  $^{22}Na$ ,  $^{60}Co$  and  $^{57}Co$ , from Canberra Industries and  $^{152}Eu$ ,  $^{133}Ba$ ,  $^{137}Cs$  from the International Atomic Energy Agency (IAEA). A secondary source of  $^{56}Mn$  was added to the set, which was prepared depositing an aliquot of 0.1000 mL 1000  $\mu g/mL$  standard solution in a polyethylene vial and irradiated. Another set of secondary gamma sources was prepared of  $^{198}Au$ ,  $^{165}Dy$ ,  $^{203}Hg$ ,  $^{51}Cr$ ,  $^{142}Pr$ ,  $^{86}Rb$ ,  $^{52}V$  and  $^{28}Al$ , to obtain the efficiency at  $G_{Rout}$  at 58.2 mm and 12.5 mm. Then the efficiency was determined by  $\epsilon_\gamma = A_m \cdot \lambda \cdot \exp(\lambda T_d) \cdot T_r/T_v / (1 - \exp(-\lambda T_r)) \cdot P_\gamma \cdot A_0 \cdot COI$ , where;  $A_m$  = peak area,  $T_v$  = live time,  $T_r$  = real time  $T_d$  = decay time,  $A_0$  = Measure count rate,  $P_\gamma$  = gamma

emission probability and  $COI = \gamma\text{-}\gamma$  true coincidence value. The pairs  $\ln(\text{energy}) / \ln(\text{efficiency})$  are adjusted to a grade 4<sup>o</sup> polynomial regression [20].

The  $f$  and  $\alpha$  parameters, as well as the neutron temperature of the irradiation facility were determined using well characterized standard solutions of Au-Co-Mo Lu [21].

The  $\gamma\text{-}\gamma$  true coincidence corrections were also experimentally determined, according to a procedure implemented in the laboratory [22]. It considers the relative difference of counting activities of the photopeak of interest for the used measurement geometry of 12.5 mm respect to the defined reference measurement geometry of 200 mm. An adequate volume of standard solutions was deposited into an irradiation vial containing powder cellulose. After irradiation, these were measured using the GC7019 HPGe detector, long enough to get counting statistics better than 0.5 % for both mentioned geometries.

Neutron self-shielding effects were determined calculating the effective neutron self shielding factor given by the weighted mean of thermal and epithermal factors described by C. Chilian and G. Kennedy and using the spreadsheet developed by the cited authors [8].

Spectral interference corrections were performed in the evaluation of  $^{153}Sm$ ,  $^{122}Sb$ ,  $^{141}Ce$  and  $^{51}Cr$ . The correction factors were determined performing measurements of an irradiated standard of the interfering nuclide  $^{239}Np$ ,  $^{76}As$ ,  $^{175}Yb$  and  $^{147}Nd$ , respectively. The interfering photopeak area is evaluated and also the area of the photopeak usually used in the determination of the element. A ratio is obtained from these areas. The photopeak area interfered divided by the correction factor, is subtracted from the photopeak area to be determined.

The correction factors for uranium fission interference were calculated for the three materials [23]. Table 2.

**Table 2.** Estimation of contributions from uranium fission interference (%).

Element	SRM 679	Ohio red clay	SRM 1633b
Ce	0.74	0.77	1.34
Nd	1.52	1.28	2.45
La	0.04	0.04	0.07

### 3. Results y Discussion

Figure 2 shows the efficiency curves obtained for GC1518 detector, covering an energy range of 88 keV to 1810 keV. These exhibit a good agreement between the standard and the prepared gamma sources as well as between the fitting curve and the experimental points. However, a relative dispersion of about 2% was observed for the region between 88 keV and 150 keV, that could affect the determination of  $^{153}\text{Sm}$  using the gamma peak at 103 keV.

The reason to use two detectors to perform measurements was that GC7019 detector is associated to a sample changer system that allows measurement of 20 samples in an automated way. This fixed system requires location of samples at a distance of 12.5 mm and for medium half-life nuclides the death time exceed the criteria of  $\leq 5\%$ , adopted in the laboratory. In the other hand, the minimal distance to sample in the GC1518 detector is 58.2 mm, because of the design of its associated sample changer, which restricted the possibility to obtain good counting statistics with low uncertainties for  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{181}\text{Hf}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{147}\text{Nd}$ ,  $^{86}\text{Rb}$ ,  $^{182}\text{Ta}$ ,  $^{160}\text{Tb}$  and  $^{233}\text{Pa}$ .

The values of  $f$ ,  $\alpha$  and neutron temperature parameters at the irradiation position were  $(60.0 \pm 1.2)$ ,  $(0.0330 \pm 0.0037)$  and  $(40.0 \pm 2.0)$  C ( $k = 1$ ), respectively.

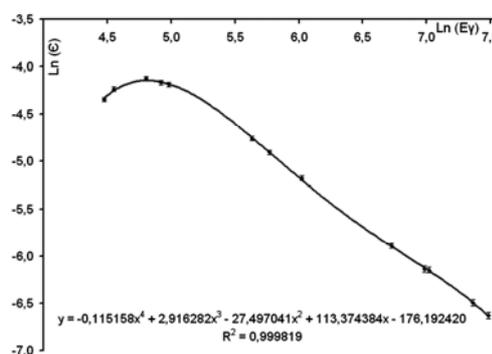
The impurities contained in the metallic Zn comparator: Sn (0.001%), Fe (0.002%), Cd (0.0005%), Pb (0.005% and As (0.00001%), do not affect the counting statistics and neither cause any interference.

In view that the granular zinc used to prepare the comparator, has a maximum cadmium concentration of 0.0005%, its contribution to the neutron self shielding was taken into account. The effective neutron self shielding factor obtained was 0.998 which includes the effect of the zinc foil thickness and the presence of cadmium impurities. Thus, it can be concluded that the thickness and mass of the Zn comparator used in the analysis are suitable for the purpose.

It should be noted that the neglecting of the COI factors for the GC 7019 detector could incorporate an error in the measurement from 15% for  $^{76}\text{As}$  to 0.3% for  $^{233}\text{Pa}$  and from

2.9% for  $^{46}\text{Sc}$  to 0.9% for  $^{76}\text{As}$  and  $^{233}\text{Pa}$  for the GC 1518 detector.

The correction factors from uranium fission interference were not significant for the analyzed reference materials. However in coal fly ash material the uranium content of 8.79  $\mu\text{g/g}$  and 200 mg of sample mass analyzed, cause a significant interference for Nd. The correction factor for La is dependent upon cooling time as the  $^{140}\text{Ba}$  ( $T_{1/2} = 12.75$  d) decays to  $^{140}\text{La}$  ( $T_{1/2} = 1.68$  d) so this interference is avoided [24].



**Figure 2.** Routine efficiency curve for GC1580 detector at 58 mm distance. Only sources without  $\gamma$ - $\gamma$  coincidences were used.

All experimental results are expressed in dry weight basis and accompanied with uncertainty to a confidence level of 68% for Ohio red clay ( $k=1$ ) and 95% for brick clay and coal fly ash ( $k=2$ ), to be consistent with the data reported in the correspondent certificates.

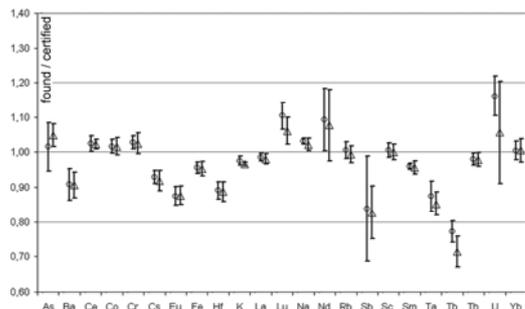
The first step in evaluation of the results was the determination of outlier data, applying Grubs test according to ISO 5725-2 [25]. Sb and Rb were identified as outliers in Ohio red clay and brick clay material, respectively, analysed by analyst 1. No outliers were identified in coal fly ash material.

Figures 3 - 5 summarize the results obtained in the analysis. The observed dispersion within analysts (repeatability) was evaluated using the relative standard deviation (RSD %). Most of the elements show a RSD of less than 5%. Exceptions were As (6.8%), Nd (8.2%), Sb (18%) by analyst 1; Nd (9.5%), U (13.9%), Sb (9.1%) and Tb (6.2%) by analyst 2 in Ohio red clay. In brick clay; As (8.6%), U (20%), Sb (8.3%), Tb (7.2%) by analyst 1 and U (12.7%), Sb (7.4%), Tb (8%) and Yb (7.3%) by analyst 2. For coal fly ash material

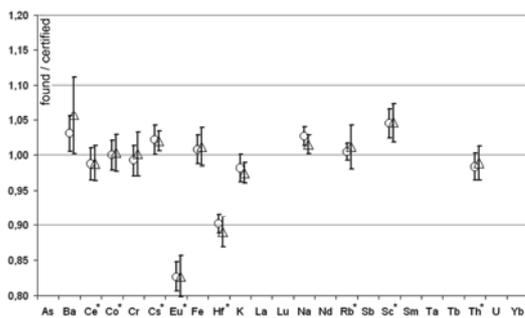
results obtained for both analysts agreed within a 5% range.

The precision between analysts (reproducibility) was evaluated using the Fisher test ( $F_{5,5} = 5.05$ ;  $P = 0.05$ ) that compares variances and the student-t test (10 degrees of freedom,  $P = 0.05$ ,  $|t| = 2.23$ ) that compares means. It was found that K and U in Ohio red clay, As and Rb in brick clay and Nd in coal fly ash do not fulfill the evaluation criteria for F-test and in the t-test, only Tb in Ohio red clay showed that the observed value is higher than the critical value.

The results of Ohio red clay used as reference values were those published in reference [14] and for coal fly ash material in reference [16]. They were chosen because most of the results of the elements analyzed are expressed with uncertainty values, thus the u-score value could be obtained.



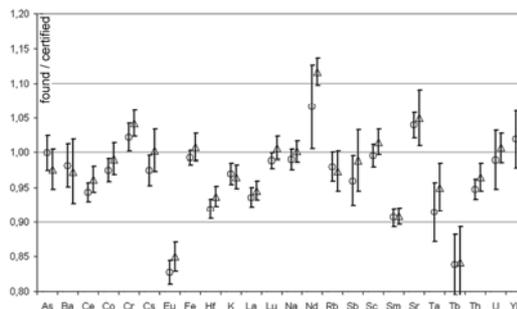
**Figure 3.** Precision evaluation in Ohio red clay reference material: repeatability and reproducibility. Analyst 1 o and Analyst 2 Δ.



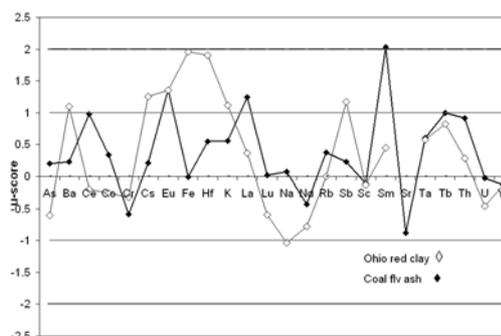
**Figure 4.** Precision evaluation in SRM 679 BRICK CLAY reference material: repeatability and reproducibility. Analyst 1 o and Analyst 2 Δ (\* Information values).

Figure 6 show the u-score values obtained for Ohio red clay and coal fly ash materials, which take into account uncertainty values and allow assessing the performance of the laboratory. In this case, all the elements fulfilled the trueness criteria in the three reference materials. The u-score of brick clay

material was not considered because only five elements have uncertainties associated to the results in its certificate.



**Figure 5.** Precision evaluation in SRM 1633b COAL FLY ASH reference material: repeatability and reproducibility. Analyst 1 o and Analyst 2 Δ.



**Figure 6.** u-score values for Ohio red clay and SRM 1633b coal fly ash reference materials.

Further studies related with correction parameters will be explored to identify the possible errors revealed in the precision evaluation.

Some of the elements analysed e.g. the rare earth elements, Cr, Th, Sc, alkali and earth alkali metals (K, Rb, Cs and Ba), transitions metals (Fe, Co, etc.) play an important role in archaeological studies [26]. It is important to ensure the accuracy of the results for the mentioned elements to allow the archaeologist to characterize and discriminate the production centres, involving short distances or intraregional exchange [27].

#### 4. Quality assurance / quality control

The use of Zn as comparator has implied a change in the analysis procedure of clay samples in our laboratory. Following the quality system implemented and as a candidate laboratory for accreditation, care has been taken in all the stages of the analysis: e.g. in samples and comparator preparation; use of calibrated balances, clean material, good housekeeping and clear

labelling. The thickness of each prepared comparator was tested every time to ensure its reproducibility. In the irradiation and measurement stages; the arrangement of comparator and sample in the capsule has been improved, in order to ensure that the error due to neutron flux differences is kept within 0.5%. Measurement equipment has a person responsible for timely fitness and maintenance. The energy resolution is checked systematically and control charts are kept. Personal in charge of measurements have been trained to improve their performance. All these actions have been adequately recorded and documented.

Finally, the evidence found regarding the accuracy of results should guarantee that the whole analytical process is under statistical control.

## 5. Conclusions

The  $k_0$ -INAA method using Zn foil as comparator was satisfactorily applied for the analysed materials and has been proven that fit for purpose. About 70% of the results fulfil the requirements for precision and 100% for trueness.

The use of zinc foil as comparator is a good choice when relatively short irradiation times (i.e 30 minutes at  $1.9 \cdot 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) are used. Under those conditions, it would be necessary to deposit 10 mg from a zinc standard solution, which is less practical.

## 6. References

- [1] Wasim M, Zaidi JH, Arif M, Fatima I. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2007; DOI: 10.1007/s 10967-007-7100-8.
- [2] Nyarko BJB, Akaho EHK, *et al.* J. Radioanal. Nucl. Chem. 2003; 257:361-366.
- [3] Jong-Hwa Moon, Sun-Ha Kim, Yong-Sam Chung, Young-Jin Kim. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2007; 271:289-295.
- [4] De Corte F, Simonits A. Atomic Data and Nuclear Data Tables. 2003; 85:47-67.
- [5] Kennedy G, St. Pierre J, Wang K, Zhang Y, Preston J, Grant C, Vutchkov M. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2000; 245:167-172.
- [6] Diaz O, Alvarez I, Herrera E, *et al.* J. Radioanal. Nucl. Chem. 1997 220:99-102.
- [7] Di Piero A, Bacchi MA, Fernandes EAN. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2006; 269(2):447-450.
- [8] Chilian C, St-Pierre J, Kennedy G. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2008; 278:745-749.
- [9] Roszbach M, Blaauw M, Bacchi, *et al.* J. Radioanal. Nucl. Chem. 2007; 274:657-662.
- [10] De Corte F, De Wispelaere A, Van Sluijs R, Bossus D, Simonits A, *et al.* J. Radioanal. Nucl. Chem. 1997; 215:31-37.
- [11] De Corte F, De Wispelaere A. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2005; 263:653-657.
- [12] Blaauw M, Ammerlaan MJJ, Bode P. Appl. Radiat. Isot. 1993; 44:547-551.
- [13] Montoya EH, Cohen IM, Mendoza P, Torres B, Bedregal P. J. Radioanal. Nucl. Chem. 1999; 240:475-479.
- [14] International Atomic Energy Agency. Nuclear analytical techniques in archaeological investigations. Technical Report Series 416. Vienna: IAEA; 2003.
- [15] Kuleff I, Djingova R. J. Radioanal. Nucl. Chem. 1998; 237(1-2):3-6.
- [16] Greenberg RR, Mackey EA, Becker DA. J. Radioanal. Nucl. Chem. 1995; 193:7-14.
- [17] Torres B, Montoya E, Mendoza P, Bedregal P, Ubillús M, Olivera P. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2003; 257:597-601.
- [18] Montoya EH, Pardo J, Mendoza P, Bedregal P, *et al.*  $k_0$ -based instrumental neutron activation analysis using MS-Excel and Canberra Genie-2000. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN; 2009. p. 75-78.
- [19] Kolotov VP, De Corte F. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2003; 257:501-508.
- [20] Mendoza P. Evaluación de la eficiencia relativa de detectores HPGe para su empleo en AANI basado en el método  $K_0$ . En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2005. Lima: IPEN; 2006. p. 3-5.
- [21] Montoya E, Mendoza P, Bedregal P, *et al.* The set Au, Zr, Mo, Cr, Lu as multiple reactor flux monitor. The performance of  $^{96}\text{Zr}$  and the analysis of inconsistencies. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2007. Lima: IPEN; 2008. p. 15-19.
- [22] Mendoza P, Bedregal P, *et al.* Determinación del efecto de suma por coincidencia en detectores HPGe de alta eficiencia relativa. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2006. Lima: IPEN; 2007. p. 3-5.
- [23] Glascock MD, P.I. Nabelek PI, *et al.* J. Radioanal. Nucl. Chem. 1986; 99:121.
- [24] Tiwari S, Nair AGC, *et al.* J. of Nuclear and Radiochem. Sciences. 2007; 8(1):25-30.
- [25] International Organization for Standardization (ISO). ISO 5725-2. 1st. ed. Geneva, Switzerland: ISO; 1994.

## Corrección de eficiencia por variación de geometría, empleando hojuelas de Zn como comparador en mediciones de INAA paramétrico

Pablo Mendoza<sup>1,\*</sup>, Carmen López<sup>2</sup>, Rosa Airas<sup>1</sup>, Eduardo Montoya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Química, Instituto Peruano de Energía Nuclear

<sup>2</sup> Control de Calidad, Científica Andina S.A.C.

### Resumen

Se ha modificado la morfología del comparador de Zn, en forma de hojuela, a fin de asegurar la similitud geométrica con respecto a las muestras de matriz silicea analizadas rutinariamente por la técnica de INAA. Se ha evaluado la variación de parámetros geométricos tales como altura y ángulo sólido, encontrándose una diferencia en la eficiencia nominal ( $\epsilon$ ) para el pico de 1115.5 keV del  $^{65}\text{Zn}$  del 9,1% y 6,7% para los detectores Canberra GC70195 y GC1518, respectivamente, siendo la altura el parámetro de mayor influencia. Mediante el análisis de la muestra certificada NIST 1633b, aplicando el nuevo valor de  $\epsilon$  calculado se ha comprobado que la eficiencia del detector GC1518 es correcta, dentro de un margen  $\pm 5\%$ , a partir de 300 keV. Para el detector GC7019 se ha observado una variación sistemática entre 7% hasta 14% a partir de 312 keV.

### Abstract

The foil shape of the Zn comparator has been modified, in order to ensure the geometrical similarity with the samples of siliceous matrix, which are routinely analyzed by the technique of INAA. The variation of geometrical parameters, like as height and solid angle, have been evaluated, leading nominal efficiency ( $\epsilon$ ) differences of 9.1% and 6.7 %, for the Canberra GC7019 and GC1518, detectors, for the 1115.5 keV photo peak of  $^{65}\text{Zn}$ , being the height the most influencing parameter. The suitability of the corrected efficiency values has been assessed by analyzing the Standard Reference material NIST 1633b. It had been found that the former efficiency curve for the detector GC1518 was right, inside a margin of  $\pm 6\%$ , for  $E \geq 300$  keV. For the detector GC7019, it is observed a systematic difference, of about 7% to 14%, for  $E \geq 312$  keV.

### 1. Introducción

Desde el año 2008, en la División de Técnicas Analíticas Nucleares del IPEN se emplea el cinc como comparador en la técnica de INAA mediante el método del  $k_0$  [1].

Su aplicación ofrece una serie de ventajas metodológicas, por ejemplo, el período de semidesintegración del  $^{65}\text{Zn}$  ( $T_{1/2}=243.8$  d), lo hace adecuado para optimizar el momento de medición. Además, en forma de hojuela presenta una adecuada estabilidad química y térmica.

Sin embargo, por requerimiento del sistema de calidad, el tiempo muerto de conteo se restringe a un valor no mayor al 5%. Esto limita la masa de la hojuela a 20 mg, tomando en consideración una fluencia neutrónica  $2 \cdot 10^{16}$  n  $\text{cm}^{-2}$  y una distancia de medición de 24.1 mm al detector p-GeHP de

70% de eficiencia relativa como parámetros de trabajo.

Además, para minimizar la corrección por  $G_{\text{eff}}$ , se requiere que la hojuela sea lo más delgada posible, alcanzándose un espesor de  $\sim 0.1$  mm en la práctica.

Bajo estas consideraciones, el diámetro de la hojuela según la ecuación 1, resulta igual a 6 mm.

$$\phi = 2 * \sqrt{\frac{M}{\rho * \Pi * H}} \quad (1)$$

Donde:

$$\rho = 7.13 \text{ g cm}^{-3}$$

$$M = 0.020 \text{ g}$$

Experimentalmente, tal como se muestra en la figura 1, las diferencias de diámetro y altura entre el comparador y la muestra presuponen una variación en la eficiencia

\* Correspondencia autor: pmendoza@ipen.gob.pe

geométrica, cuya determinación implica características físicas similares entre la muestra y el comparador [2].

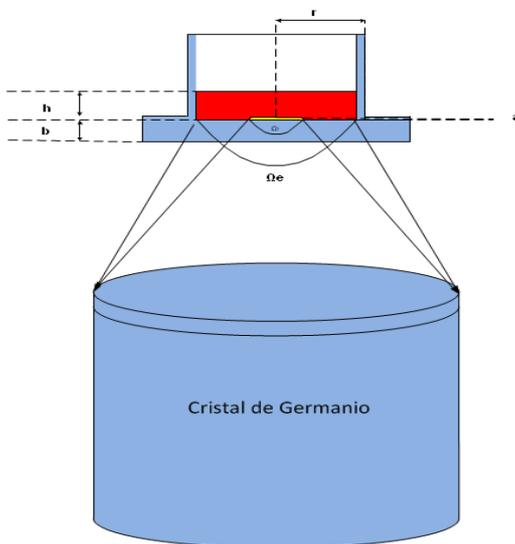
Nominalmente, la corrección geométrica de eficiencia [3] consiste en la conversión de una eficiencia de referencia  $\epsilon^{ref}$  en una eficiencia geométrica  $\epsilon^{geo}$ , que incluye la corrección del ángulo sólido para cualquier geometría de fuente. La expresión utilizada es:

$$\epsilon^{geo} = \epsilon^{ref} \frac{\Omega^{geo}}{\Omega^{ref}} \quad (2)$$

$\epsilon^{ref}$  se define como la eficiencia medida a partir de fuentes de calibración consideradas puntuales en comparación a las dimensiones del detector.

$\epsilon^{geo}$  indica el valor de eficiencia a calcular para la muestra, en tanto que los términos:  $\Omega^{eff}$  y  $\Omega^{geo}$  representan el ángulo sólido efectivo circunscrito al detector con respecto a la fuente de calibración y la muestra respectivamente.

La expresión (2) implica entonces conocer la distribución interna del detector, la que no siempre es accesible.



**Figura 1.** Arreglo Geométrico de conteo en detector GC70195.

Tanto la muestra como comparador se encuentran dentro de envase de polietileno solo para fines de presentación. Las medidas se expresan en mm; r (radio envase) = 4.5, h (altura de muestra) = 2, b (grosor de envase)=1.6, a (espesor de hojuela de Zn) =

0.15. Distancia detector-muestra = 24.1 mm considerando una capa muerta de 1 mm. Diámetro de cristal Ge =75 mm, no en escala solo para fines visuales.

Alternativamente, se plantea para la determinación de  $\Omega$  y la corrección por variación de altura y forma, una solución empírica basada en la comparación relativa de la actividad específica del  $^{65}\text{Zn}$  entre su forma inicial y la acondicionada a la geometría de envase a partir de la disolución de la misma hojuela de Zn irradiada.

Empleando la ecuación (3) de la referencia [4], se tiene:

$$Q_{zn} = \frac{(N_p / Wt_m SDC)_h k_{o,Au}(e) \epsilon_e f(\alpha) + Q_{o,e}(\alpha)}{(N_p / wt_m SDC)_e k_{o,Au}(h) \epsilon_h f(\alpha) + Q_{o,h}(\alpha)} \quad (3)$$

Donde para “h” (hojuela) y “e” (envase de polietileno) se tienen valores similares de  $k_0$ , masa, factor de saturación (S) y parámetros de irradiación  $f$  y  $\alpha$ , siendo  $\epsilon_e$  el valor de eficiencia referencial.

$$\epsilon_h = \frac{(N / t_m DC)_h}{(N / t_m DC)_e} \epsilon_e \quad (4)$$

Siendo:

$$D = e^{\lambda t d}$$

$$C = \lambda t_m (1 - e^{-\lambda T_r})$$

$N$  es el área neta del pico de energía plena de 1115.6 keV y  $\epsilon_h$  el valor de eficiencia a determinar para la geometría de hojuela.

## 2. Experimental

Las mediciones fueron realizadas en los detectores utilizados para ensayos de rutina: El primer detector p-GeHh Canberra GC70195<sup>†</sup> “Gamma” con relación pico Compton (P/C) de 70, posee un cristal de 75 mm de diámetro y 69 mm de longitud, situado a 4.5 mm del cobertor de Al, de 1.5 mm de grosor. Se encuentra acoplado a un sistema intercambiador automático de muestras TEMA modelo SC 100/20 y cuenta con un blindaje de Pb de 100 mm de espesor,

<sup>†</sup> En los detectores Canberra, los 2 primeros dígitos del número de modelo indican la eficiencia relativa y los siguientes la resolución en keV, ambos referidos al pico 1332.5 keV  $^{60}\text{Co}$

forrado con lámina de Cu electrolítico y otra de Sn de 1 mm.

El otro detector p-GeHp Canberra modelo GC1518 denominado “Quina” está conectado a un intercambiador automático circular de acrílico con 6 posiciones de medición equidistantes, siendo 64,7 mm la distancia de la muestra al cristal de 48 mm de diámetro y 40 mm de longitud. Asimismo, cuenta con un blindaje lateral de Pb de 10 mm de espesor, pero sin protección en la parte superior.

El programa de adquisición y tratamiento espectral utilizado es el Genie 2K VS2.0 de Canberra.

La hojuela de Zn obtenida mediante prensa hidráulica, a partir del laminado de granallas de 99.99% de pureza, se secciona mediante un sacabocado, a un diámetro de  $\varnothing = 6$  mm cuyo espesor se mide con un calibrador digital.

El metal se pesa con una precisión de 0.01 mg y se acondiciona en una cápsula de polietileno, con envoltura de papel aluminio, para luego irradiar por 900 s, bajo un flujo neutrónico térmico de  $1.6 \cdot 10^{13}$  n cm<sup>-2</sup>s<sup>-2</sup>, en la posición a1 de la grilla del reactor RP-10 de Huarangal.

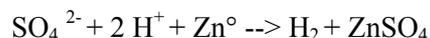
Luego de 30 días de decaimiento se coloca la hojuela irradiada en un envase de polietileno sin sellar, relleno con discos de papel filtro para fijar su posición interna. Se mide por 1000 segundos en el detector “Gamma” con incertidumbre de área < 0.15 % para el pico de energía plena de 1115,5 keV. Se procede luego a medirlo en el detector “Quina” por 5000 s con incertidumbre de área < 0.4 %.

Con los datos obtenidos se calcula la actividad normalizada de “h”, de la expresión 4, para ambos detectores.

A fin de minimizar la variabilidad en la base del envase de polietileno ( $1,62 \pm 0,03$ ) mm<sup>‡</sup>, se emplea el mismo recipiente, en donde se agrega como soporte, aproximadamente 190 mg de SiO<sub>2</sub> de grado reactivo, pulverizado, colocando encima la hojuela de Zn activada.

Inicialmente se agrega 150  $\mu$ L de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de 2,8 N calentando aproximadamente a 60 °C, bajo lámpara infrarroja. Posteriormente se

adiciona 2 – 3 porciones de 100  $\mu$ L del ácido diluido, cuidando de evitar exceso de temperatura, para lo cual se retira la lámpara de vez en cuando. La disolución ocurre en forma paulatina según la reacción:



A fin de detectar probable pérdida por salpicadura del Zn disuelto, se coloca alrededor del envase desde el inicio del proceso de disolución un disco de papel filtro de  $\varnothing = 60$  mm, con centro perforado en  $\varnothing = 10$  mm en forma de capucha.

Una vez seco se tapa el envase de polietileno y se mide en las geometrías de rutina de ambos detectores, tomando en cuenta las consideraciones de medición anteriormente estipuladas.

Con los datos obtenidos se calcula la actividad normalizada de “e” de la expresión 4.

### 3. Resultados

En la tabla 1 se presentan los datos para el cálculo de  $C_h$  en detector Canberra GC 70195 según la expresión 4, siendo la eficiencia referencial  $E_e = 2,662$  %, en tanto que los resultados para el detector “Quina” se observan en la tabla 2 siendo su eficiencia referencial  $E_e = 0,2130$  %.

**Tabla 1.** Cálculo de la eficiencia de hojuela  $C_h$  donde  $T_H$  (hojuela) y  $T_E$  (envase) son las tasas de actividad específica normalizadas para el detector “Gamma”.

Cod	Masa (mg)	Base PE (mm)	$T_H$	$T_E$	$C_h$
			(*10 <sup>4</sup> )		
403	17,89	1,57	115,68	106,88	2,8818
401	22,41	1,61	110,84	100,82	2,9271
395	20,59	1,62	109,93	101,35	2,8877
363	20,51	1,60	79,59	72,99	2,9029
362	16,03	1,65	86,69	79,07	2,9191
361	22,63	1,59	79,61	72,90	2,9077

Para estudiar la diferencia observada entre la eficiencia calculada y la referencial se evalúan las siguientes fuentes de variación:

a) Variación por ángulo sólido

<sup>‡</sup>  $\pm$  expresado como  $1\sigma$

Hojuelas de Zn de  $\varnothing=9$  mm y 0.26 mm de espesor se irradian por 1800 s a  $10^{11}$  n cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, luego de lo cual se colocan en envases de polietileno, midiéndose en ambos detectores en las geometrías bajo estudio, determinando sus tasas específicas normalizadas. Posteriormente, se recorta la hojuela a un  $\varnothing = 6$  mm, realizando el mismo procedimiento mencionado. Una variación en la relación de tasa específica revelaría influencia del ángulo sólido. En la tabla 4 se observan los resultados obtenidos para 2 réplicas en ambos detectores.

**Tabla 2.** Cálculo de la eficiencia de hojuela siendo  $T_H$  y  $T_E$  las tasas de actividad específica normalizadas para el detector “Quina”.

Cod	Masa (mg)	Base PE (mm)	$T_H$	$T_E$	$\epsilon_h$
			(*10 <sup>4</sup> )		
403	17,89	1,57	8,894	8,346	0,2270
401	22,41	1,61	8,847	7,966	0,2266
395	20,59	1,62	8,455	7,958	0,2263
393	36,44	1,67	8,801	8,216	0,2281
363	20,51	1,60	6,187	5,787	0,2277
362	16,03	1,65	6,832	6,346	0,2293
361	22,63	1,59	6,127	5,766	0,2263

**Tabla 3.** Eficiencia ( $\epsilon$ ) para el pico de 1115,5 keV obtenida para los detectores GC70195 “Gamma” y GC1518 “Quina”, según la metodología implementada con los factores de corrección respectivos, según ecuación 4. Incertidumbre expresada con  $K=2$ ,  $F_{corr}$  es el ratio entre  $\epsilon_H$  calculada y la eficiencia referencial.

Detector	( $\epsilon \pm U$ ) %	$F_{corr}$
GC1518	0,2267 $\pm$ 0,0008	1,066 $\pm$ 0,004
GC70195	2,904 $\pm$ 0,014	1,091 $\pm$ 0,006

#### b) Variación por altura de muestra

A fin de evaluar la variación de la eficiencia con respecto a la distancia se emplea el sistema intercambiador asociado al detector gamma, que permite fijar diversas alturas de medición con respecto a la de rutina (24.1mm). Tal alternativa no es posible para el detector “Quina” por carecer de un mecanismo similar.

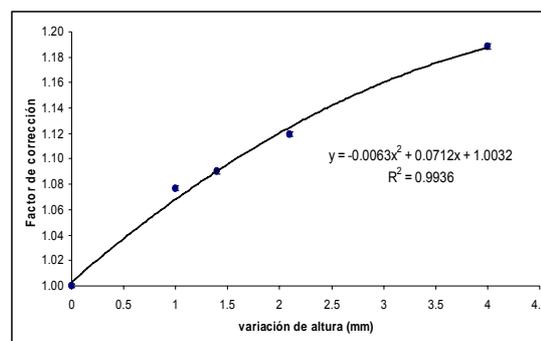
Se emplea una hojuela de  $\varnothing = 6$  mm en envase de polietileno de 1.62 mm de base. Se mide por 3000 segundos con una incertidumbre relativa de área  $\approx 0.16$  %,

calculando la actividad normalizada para cada altura de medición.

**Tabla 4.** Relación de tasa específica normalizada ( $\Omega$ ) para hojuelas de  $\varnothing=9$  mm ( $T_9$ ) y  $\varnothing=6$  mm ( $T_6$ ).

Cod	Detector (10 <sup>3</sup> )	$T_9$ (10 <sup>3</sup> )	$T_6$	$\Omega$
14	Gamma	25,27	25,260	1,0001
16	Gamma	25,16	25,164	0,9999
14	Quina	1,969	1,980	0,9946
16	Quina	1,967	1,962	1,0025

Se determina el factor de corrección considerando la relación de la actividad normalizada obtenida para la distancia (24,1 + i) mm con respecto a la inicial (24,1 mm), donde i es la distancia a variar (Figura 2).



**Figura 2.** Factor de corrección por variación de la distancia de conteo con respecto a la referencial en detector GC70195.

#### c) Rendimiento del proceso de disolución de hojuela

Para calcular el rendimiento se determina previamente la relación de eficiencias para el pico de 1115,5 keV entre ambas geometrías, envase y disco de papel filtro, empleando una solución radiactiva de <sup>65</sup>Zn de 0.4 kBq/mL.

Se agrega una alícuota de 250  $\mu$ L a un envase de polietileno conteniendo 200 mg de SiO<sub>2</sub> y la misma cantidad a un disco de filtro Whatmann de  $\varnothing = 60$  mm con perforación central de  $\varnothing = 10$  mm (en todo el contorno del disco).

El disco filtro y envase de polietileno se secan bajo lámpara infrarroja y se miden a la misma distancia, por 18000 y 60000 segundos, respectivamente, con una incertidumbre de área  $< 1\%$ . Se calcula la actividad específica en ambos casos y

considerando como unidad referencial la del envase de polietileno, entonces:

$$E_{\text{filtro}} = 0.505 E_{\text{envase}}$$

El rendimiento del proceso de disolución entre 9 réplicas (envases con sus respectivos discos filtro medidos por 1000s) varían de 99% a 99.8%, considerándose aceptables aquellas con rendimiento < 99.5%. (n=7).

**Tabla 5.** Valores de concentración, del análisis de muestra SRM 1633b, para n=15, empleando el detector “Quina” y valor corregido de eficiencia para el comparador de Zn. Concentración expresada en mg/kg, excepto el K (%).

	<i>Energía</i>	<i>Valor</i>	<i>Valor</i>	<i>Valor</i>	<i>Error</i>
	<i>(keV)</i>	<i>Exp</i>	<i>Corr</i>	<i>Ref</i>	<i>(%)</i>
Sm	103,3	16,8	17,9	19,17	-6,6
U	277,6	8,9	9,4	8,61	9,2
W	479	5,3	5,6	5,6	0,0
La	487	84,6	90,2	93,7	-3,7
As	559	128	137	135	1,5
Na	1368,6	2008	2140	2011	6,6
K	1524,5	1,88	2,00	1,95	2,6
La	1596	83,2	89	93,7	-5,0

Donde:

Valor Exp= valor utilizando eficiencia referencial.

Valor Corr = valor con eficiencia corregida.

Valor Ref = valor certificado según [5] Error (%)= diferencia porcentual del valor corregido respecto al certificado.

**Tabla 6.** Valores de concentración, del análisis de muestra SRM 1633b, para n=16, empleando el detector “Gamma” y valor corregido de eficiencia para comparador de Zn. Concentración en mg/Kg a excepción del Fe expresada como (%).

	<i>Energía</i>	<i>Valor</i>	<i>Valor</i>	<i>Valor</i>	<i>error</i>
	<i>(keV)</i>	<i>Exp</i>	<i>Corr</i>	<i>Ref</i>	<i>(%)</i>
Ce	145	178,2	194	192,7	0,7
Lu	208	1,14	1,25	1,17	6,8
Th	312	24,4	26,6	25,64	3,7
Cr	320	198,8	217	196	10,7
Yb	396	7,5	8,24	7,62	8,1
Hf	482	6,8	7,4	6,8	9,1
Ba	496	711	776	720	7,8
Sr	514	1065	1162	1041	11,6
Nd	531	88,9	97	85	14,1
Cs	796	10,54	11,5	10,74	7,1
Sc	889	40,8	44,5	41,22	7,9
Rb	1076	141,7	155	145	6,9
Fe	1099	7,60	155	7,71	7,5
Fe	1292	7,52	8,20	7,71	6,4
Co	1332,5	48,1	52,4	49,6	5,7
Eu	1408	3,40	3,71	4,12	-10,0
Sb	1691	5,0	5,4	5,1	5,9

Los nuevos valores de eficiencia calculados para el pico de 1115,5 keV del  $^{65}\text{Zn}$  se aplican en la determinación cuantitativa de la muestra de referencia certificada SRM NIST 1633b [5], tal como se observa en las tablas 5 y 6.

#### 4. Discusión de Resultados

La tabla 3 indica una variación sustancial de la eficiencia geométrica de medición al modificarse la morfología del comparador de Zn, fundamentalmente por el parámetro de altura, en concordancia con lo observado en la figura 2.

No se observa influencia alguna del ángulo sólido por diferencia de diámetro entre muestra (9 mm) y comparador (6 mm), algo de suponer para el detector “Quina” por la distancia considerada de 64.7 mm al cristal, en tanto que para el detector “Gamma”, es el diámetro del cristal lo que atenúa esta variación, a pesar de la menor distancia de medición involucrada.

El rendimiento obtenido (>99.5%) en el proceso de disolución de la hojuela minimiza el error sistemático por pérdida que afectaría directamente al valor del denominador de la expresión 4.

La altura es de por sí el parámetro de mayor influencia tal como se observa en la figura 2, en donde una variación de 0,5 mm involucra una corrección del 4%, lo que conlleva a una mejor toma de decisión en el empleo de envases con tolerancias < 1% en sus dimensiones y un espacio fijo de llenado para conocer adecuadamente la altura de muestra. Desde esta perspectiva, la muestra en forma de pastilla sería la mejor alternativa geométrica.

El error observado en la tabla 6 (detector “Gamma”) de los valores de concentración corregidos con respecto al valor referencial presenta un comportamiento sintomático, ascendente en promedio desde los 200 keV hasta 530 keV para luego bajar hasta 1690 keV con excepción del Eu, lo que indica probablemente problemas en los valores de eficiencia.

Si bien se observa que los valores nominales obtenidos empleando el comparador en forma de hojuela y no en una geometría similar (envase) son más cercanos a los de referencia

es probable una variación sistemática no observada de la eficiencia calculada por ajuste polinomial por ser el análisis de carácter relativo y no absoluto.

Si bien se ha identificado problemas en los valores de eficiencia, lo que se plantea no es establecer una “nueva eficiencia” sino estudiar la variación de la misma ante el cambio de morfología.

Tal comportamiento no se observa en el detector “Quina”, donde el error relativo promedio es  $< 6\%$ , excepto el 277,6 keV del  $\text{Np}^{239}$  lo que corrobora los resultados obtenidos en la referencia [4].

## 5. Conclusiones

Al conocer las fuentes de variación para determinar la concentración del analito mediante la técnica de INAA, la evaluación del cambio en la geometría del comparador nos permite visualizar el comportamiento de la eficiencia en los sistemas de espectrometría gamma.

Los nuevos valores de eficiencia obtenidos para los detectores “Gamma” y “Quina” implican la necesidad de conocer con mayor detalle en la similitud de geometría tanto de muestras y comparadores así como de los componentes estructurales del sistema de medición para lo cual se encuentra en proceso diversos estudios a fin de controlar tal variabilidad.

Los resultados de este trabajo permitirán mejorar la calidad de los servicios de análisis

por activación que brinda el laboratorio a clientes internos y externos.

## 6. Bibliografía

- [1] Bedregal P, Mendoza P, Ubillús M, Montoya E.  $K_0$ -INAA method accuracy using Zn as comparator. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. doi:10.1016/j.nima.2010.01.043 -
- [2] Bossus DAW, Van Sluijs R. The influence of sample properties and sample geometry on the accuracy of gamma-ray spectrometric analyses. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 1998; 233:143-148.
- [3] Moens L, *et al.* Nucl. Instr. Meth., 1981; 187:451.
- [4] Montoya E, Bedregal P, Mendoza P, Ubillús M, Torres B, Cohen IM. The development of the  $k_0$  method in Peru: Past, present and future perspectives. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. [En Prensa].
- [5] Greenberg R, Mackey E, Becker D. The application of instrumental neutron activation analysis for the certification of the new NIST FLY ASH SRM. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 1995; 193(1):17-14.

## Técnicas nucleares en el estudio de piezas de oro de Morro de Éten

Luisa Vetter<sup>1</sup>, Susana Petrick<sup>2</sup>, Paula Olivera<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Museo Nacional Sicán, Instituto Riva Agüero-PUCP

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería,

<sup>3</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear

### Resumen

En el sitio arqueológico de Morro de Éten, Elera durante sus excavaciones encontró entre 1979 y 1988 pequeñas piezas de oro, algunas de las cuales fueron analizadas encontrándose en su composición platino. Por otro lado, a simple vista algunas parecían haber sido cubiertas parcialmente por un polvo o pigmento rojo inicialmente identificado por Elera como hematita. El objetivo de este trabajo ha sido esclarecer la presencia de platino en dichas piezas, verificando si todas ellas contienen este elemento en su composición para comprender de qué modo ésta pudo influir en la tecnología de los antiguos orfebres; además, intentamos dilucidar si el pigmento que se encuentra en las piezas de oro de Morro de Éten es hematita o cinabrio; para ello, recurrimos a diferentes técnicas nucleares como Activación Neutrónica (NAA), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Espectrografía de Emisión Atómica, Fluorescencia de Rayos X (FRX) de Energía Dispersiva, y Microanálisis de Energías Dispersivas de Rayos X (EDAX) y microscopía óptica. Finalmente, se pudo concluir que las piezas analizadas contienen Pt en pequeñas cantidades, entre 0,6 y 1%, y el análisis del polvo adherido a la superficie del anillo revela que se trata de cinabrio.

### Abstract

In the archaeological place of Morro de Éten, Elera found during his excavations between 1979 and 1988 small pieces of gold, some of which they were analyzed being found in their composition platinum. On the other hand, at first sight some they seemed to have been covers partly by a dust or red pigment initially identified by Elera as hematite. The objective of this work has been to clear the presence of platinum in these pieces, verifying if all they contain this element in his composition to understand of what way this could influence in the technology of the old goldsmiths; besides, we try to clarify if the pigment that is found in the gold pieces of Morro de Éten is hematite or cinnabar; for it, we resort to different analytic techniques as the Optical microscopy, Electronic Microscopy of Sweeping (SEM), Spectrographic of Atomic Emission, Energy Dispersive X-Rays Fluorescence (EDXRF), Neutron Activation (NAA) and Energy Dispersive of Microanalysis X-Rays (EDAX). Finally it could be concluded that the pieces analyzed contain Pt in small quantities, between 0.6 and 1%, and the analysis of the dust adhered on the surface of the ring reveals that is a matter of cinnabar.

### 1. Introducción

Los estudios sobre metalurgia para el período Formativo son aún escasos, lo que dificulta la interpretación de los resultados que hasta el momento se tienen de piezas procedentes de ocupaciones de este período. Recientemente, se ha realizado análisis químicos elementales (LA-ICP-MS) a muestras recolectadas de diferentes yacimientos de oro y su posterior comparación composicional con objetos del Formativo de Chavín, Paracas y Nasca que se encuentran en distintas colecciones, habiéndose obtenido algunos de excavaciones arqueológicas y otros de saqueo [1].

El oro nativo no es químicamente puro, se puede encontrar aleado de forma natural con plata y en menor proporción con cobre (*electrum*), como también con metales del grupo del platino, tal como ha sido hallado en La Tolita (600 a. de C. - 400 d. de C.), Esmeraldas en la costa norte de Ecuador [2] y en piezas de oro de Chongoyape y Morro de Éten [3,4]. Elera menciona que existen muchas evidencias que harían suponer que en Morro de Éten se explotaba y trabajaba el oro nativo desde el Formativo Tardío, y que los objetos elaborados podrían haber sido trasladados a otras zonas cercanas. Como

\* Correspondencia autor: polivera@ipen.gob.pe

apoyo a sus hipótesis, señala el significado del topónimo Éten, el cual se encuentra asociado a un tipo de oro (caracterizado por la cantidad de quilates) relacionado con el fulgor de la salida del sol detrás del Morro. Además, menciona que cerca del templo y el camino ritual de Morro de Éten se encuentra una mina cuyos minerales se asocian con el oro terciario, además la elevación rocosa del sitio presenta un registro de rocas básicas a ultrabásicas, que indicarían presencia de platino. Más aún, Elera afirma que las piezas de Chongoyape pudieron haber sido manufacturadas en Morro de Éten, tanto por su cercanía con el sitio, como por las evidencias de platino en la composición química de al menos una de las piezas, así como por los motivos iconográficos marinos que decoran las piezas de Chongoyape [4]. En el desarrollo de este trabajo se observó que en algunos casos no existe coincidencia en los resultados obtenidos por diversas técnicas de análisis para la medición del platino, hecho que se explica teniendo en cuenta la fenomenología en la que se fundamentan cada una de las técnicas, sus límites de detección y las interferencias.

### 1.1 Ubicación del sitio y el contexto

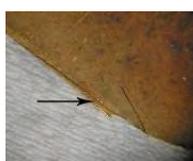
Morro de Éten es un sitio del período Formativo Tardío (600 - 400 a. de C.) [5] que se localiza en el flanco oeste y central así como en el flanco este del cerro “Morro de Éten”, ubicado en el distrito de Puerto de Éten, Lambayeque en la costa norte del Perú.



**Figura 1a.**  
Colgante U: 8-D.



**Figura 1b.**  
Orificio del colgante.



**Figura 1c.**  
Evidencia del corte.

Este sitio está conformado por arquitectura representada por terrazas, un templo, un mirador y un camino, además de varios cementerios, los cuales se ubican en las mesetas arenosas colindantes a las quebradas.

Carlos Elera (1986) priorizó sus investigaciones al estudio de los materiales funerarios recuperados en el cementerio central del sitio. Estas excavaciones se realizaron en dos temporadas de campo (1979 y 1988), donde se recuperaron varias láminas de oro muy

delgadas, así como un colgante circular laminado y un anillo elaborado de alambres retorcidos [4].

Según Elera (1986) este cementerio se encuentra localizado en una meseta de naturaleza física arenosa, la cual se ubica en el flanco oeste del Morro y adyacente a un barranco marino. Además, indica que este cementerio ha sido profanado por huaqueros, haciendo difícil contextualizar las piezas que formaban parte del ajuar funerario de los individuos.

## 2. Material de estudio

En la primera temporada de campo, Elera recuperó del Entierro 1, Unidad 8D (U:8-D, E:1), un colgante circular laminado de oro. Este entierro estaba casi destruido, ya que parte de éste cayó al barranco de la quebrada como consecuencia de factores naturales como derrumbes y lluvias, entre otros. Por tal motivo, solo fue posible registrar parte de la fosa funeraria consistente en el relleno y la base, imposibilitando identificar la ubicación exacta del colgante dentro del entierro. Por las osamentas encontradas, se sabe que este entierro perteneció a un infante, de sexo indefinido por encontrarse desarticulado.

El colgante (figura 1a), que llamaremos pieza U: 8-D, es una lámina de 0,25 mm de espesor, de forma circular de 4,2 cm de diámetro con dos orificios en la parte superior, para ir como colgante o cocida a algún textil. Los orificios se hicieron con un punzón de sección circular, como se observa en la figura 1b y la pieza fue recortada para darle forma con un cincel de corte, evidencia que se aprecia en la figura 1c. En el entierro E: 1, Unidad 13D (U: 13-D, E:

1) Elera ubicó entre varias piezas desordenadas y dispersas, una cuenta tubular de oro, pero por encontrarse este entierro disturbado las piezas no se ubicaron en su posición original. Como parte de los objetos recuperados se hallaron cuentas de turquesa que, según Elera (1986), pudieron formar parte de un collar junto con la cuenta de oro. Este entierro perteneció a un individuo adulto cuyo sexo no pudo definirse por las precarias condiciones en que se encontró el esqueleto.

La pieza de oro que llamaremos U: 13-D (figura 2), es una cuenta de forma tubular laminada, de 9,5 mm de longitud y 1,65 mm de diámetro exterior. Para su confección se

habría utilizado un método de rolado coaxial de dos láminas.



**Figura 2.** Cuenta de oro U: 13-D.

Durante la segunda temporada de campo, Elera halló en la Meseta Central, en el Entierro 10 (E: 10), siete láminas de oro muy delgadas y arrugadas en forma de tubos aplastados (Elera, comunicación personal 2008). El espesor de las láminas es en promedio de 0,10 mm y sus formas y tamaños son irregulares. Estas piezas se identificarán como E: 10 (figura 3).



**Figura 3.** Láminas de oro E: 10.

Hacia el norte de la Meseta Central se ubica la Meseta del Anillo, donde se halló fuera de contexto funerario un anillo elaborado con dos alambres de oro de aproximadamente 1 mm de diámetro cada uno, trenzados y soldados, con evidencia de pigmento rojo en la superficie (Elera, comunicación personal 2008) (figura 4). El diámetro exterior del anillo es de 19 mm y 16 mm de diámetro interior.

También fuera de contexto funerario en la Meseta del Anillo se hallaron seis cuentas tubulares de oro (Elera, comunicación personal 2008). Éstas son láminas tubulares semi aplastadas que van entre 5,1 a 8,4 mm de longitud, dando forma de rectángulos con un ancho de 3,2 mm (figura 5).



**Figura 4.** Anillo.



**Figura 5.** Cuentas tubulares de oro.

La última pieza es una placa de 8 mm de largo con 3,96 mm de ancho (figura 6a y 6b). La denominaremos Ornamento Battistini y, corresponde a la misma afiliación cultural y proviene del valle medio de Lambayeque.



**Figura 6a.** Ornamento Battistini.



**Figura 6b.** Borde del Ornamento Battistini.

### 3. Resultados del análisis químico elemental

Elera (1986) realizó análisis químicos cualitativos (semicuantitativos) de las piezas recuperadas en la primera temporada de campo, es decir, del colgante (U: 8D) y de la cuenta tubular (U: 13D). Los resultados se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Resultado del análisis realizado por espectrógrafo de emisión atómica.

Pieza	Elementos mayores	Elementos menores	Trazas
U:8D	Au, Ag	Cu	Ni, Fe, Si, Pt, Mg, Mn, Pd
U:13D	Au, Ag	Cu	Fe, Si, Mg, Mn, Pt

En estos resultados se observa la presencia de Au y Ag, como elementos mayores (%), el Cu como elemento menor (~1%) y trazas de diversos elementos (< 1 %).

Lechtman también analizó químicamente una serie de piezas de Chavín y de Chongoyape, cuyos resultados indican que existen dos grupos: [6] a) el primero compuesto por objetos que tienen una aleación natural ternaria de oro, plata y cobre, cuyo porcentaje de plata es alrededor de 25%, es decir, *electrum*; b) el segundo grupo, caracterizado por algunas piezas de Kuntur Wasi excavadas y analizadas por la misión japonesa, tiene aleación intencional de oro y plata, donde la plata tiene una concentración del 35 al 37% [7].

**Tabla 2.** Resultados de NAA y FRX de la pieza E:10.

Elemento	AAN (%)	FRX (%)
Cu	2.50 ± 0.02	2.5 ± 0.1
Ag	30.5 ± 0.7	31 ± 2
Pt	ND	< 0.25
Au	66.5 ± 1	66 ± 2

ND: No detectado

En la Tabla 2 se observa que no se detecta platino por ninguna de las dos técnicas; sin embargo, los resultados por EDAX reportan 0,3 % de Pt, como se observa en la Tabla 4.

De manera similar en la tabla 3 se muestra la concentración química elemental de todas las piezas estudiadas por FRX, en las que el Pt al parecer se encuentra siempre por debajo del límite de detección (< 0,25 %), contradiciendo los resultados obtenidos por EDAX que se presentan en la tabla 4.

**Tabla 3.** Resultados de FRX de todas las piezas.

Elem %	Meseta del anillo	Ornamento Battistini	Anillo	U:13-D, E:1	E:10	U:8-D, E:1
Cu	1.0	1.00	1.0	1.0	2.5	4.2
Ag	15.0	34.27	38.9	23.5	31	36.9
Pt	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
Au	84.0	64.73	60.1	75.5	66	58.9

**Tabla 4.** Resultados de EDAX a todas las piezas.

%	Meseta del anillo	Anillo	U:13-D, E:1	E10	U:8-D, E:1
Cu	1.1	3.0	1.0	2.2	1.4
Ag	4.6	26.0	5	30.2	19.0
Pt	2.3	0.7	1.0	0.34	ND
Au	92.0	70.3	93	67,3	79.6

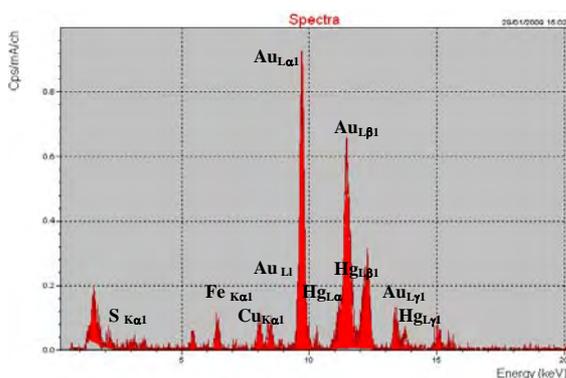
La identificación de platino en los espectrogramas de emisión atómica y los resultados aparentemente contradictorios obtenidos por FRX y AAN merecen ensayar una interpretación, por su probable aplicación a la identificación de la proveniencia del metal.

Según Bergsøe, “*para el examen cuantitativo de los principales metales en una aleación el examen espectroscópico (por emisión atómica) no es tan satisfactorio como el químico*”, esto se explica debido a que en el examen químico se usa todo el metal de la muestra y el resultado es un promedio, mientras que en el examen espectroscópico se analiza solo el punto en el que se induce el arco. Esto puede dar lugar a errores si la pieza no es homogénea.

La presencia de platino en una pieza de oro puede ser un caso típico de inhomogeneidad composicional debida a la diferencia entre las temperaturas de fusión de estos metales. Así, mientras el oro puro tiene un punto de fusión de 1065 °C, que tiende a disminuir al estar aleado con Ag (oro argentífero), el platino tiene un punto de fusión por lo menos 700 °C más alto. Esta diferencia en los puntos de fusión provoca que las partículas de platino existentes no se fundan y se combinen con el Au para formar una aleación, sino que permanezcan como inclusiones sólidas segregadas o diferenciadas.

El pigmento rojo encontrado en el anillo y algunas láminas dobladas de Morro de Éten, parece haber sido un elemento muy importante dentro de los rituales funerarios, ya que no solo cubría las piezas de oro, sino a los mismos individuos. En Kuntur Wasi se excavaron ocho tumbas de las cuales siete tenían cinabrio, sobre todo cerca del cráneo del individuo [8].

Los análisis con EDAX y FRX del polvo rojo que cubre parte del anillo y de las piezas Meseta del Anillo, dio como resultado mercurio y azufre, (Figura 7). Este pigmento sería cinabrio, es decir, sulfuro de mercurio.



**Figura 7.** Espectro FRX de pigmento naranja del anillo.

El polvo de cinabrio también se utilizó como ofrenda en las tumbas. Aunque su función en estos contextos funerarios aún se discute, posiblemente se intentaba representar la sangre derramada durante diferentes ritos. Este mineral se encuentra como pigmento en piezas de metal y madera, así como sobre individuos, en entierros hasta del período Inca.

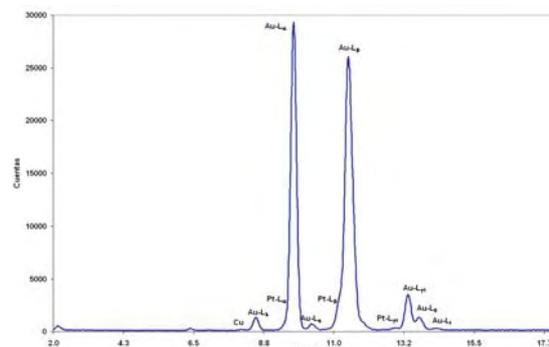
#### 4. Discusión

1.- Con relación a la aparente contradicción entre los resultados de los análisis cualitativos por emisión atómica, practicados en dos de las muestras (U:8-D y U:13-D), en los que se reporta Pt como elemento traza, mientras que no es detectado en los análisis realizados por FRX podemos ensayar algunas explicaciones:

i. En el caso de FRX vemos que debido a la superposición de los picos de Au y Pt, la detección simultánea de ambos elementos se dificulta. Más aún cuando la pieza está constituida por una matriz de Au (93 %) en la que suponemos que el Pt se encuentra no homogéneamente distribuido sino en pequeñas inclusiones, de las que no hemos podido estimar el tamaño al no haber realizado observaciones metalográficas. De acuerdo con la simulación realizada ver Figura 8, el límite de detección de platino para FRX para la geometría utilizada es este caso de 0,25 %, correspondiente a 2500 ppm, lo que pondría al Pt como elemento traza en una concentración muy alta fácilmente observable por emisión atómica.

ii. La corroboración de la presencia del Pt utilizando microsonda EDAX muestra que en la pieza U:8-D estaría incluso por debajo del límite de detección de la técnica, mientras que en la pieza U:13-D se calcula en cerca del

1%. En este caso, una vez más, llamamos la atención en el hecho que este contenido de Pt puede no estar uniformemente distribuido sino en pequeñas inclusiones localizadas aleatoriamente.



**Figura 8.** Espectro de FRX de una muestra de Platino en Lamina de Oro (0.8% de Pt. aprox.).

iii. Estos mismos criterios para comparar los resultados obtenidos por FRX y EDAX, se aplican al análisis del anillo. En este caso vemos que por FRX tampoco se puede detectar presencia de Pt, mientras que los resultados de la microsonda nos hablan de aproximadamente 0,7 % de Pt en algunas partes del cuerpo, mientras en otras partes no es detectable.

iv. Una mención especial se puede hacer en el caso del análisis de la soldadura. Aquí vemos que hay variaciones en los contenidos de Au, Ag y Pt, respecto de lo detectado en el cuerpo del anillo. (el Au sube de 70 a 80%, la Ag baja de 26 a 16 % y el Pt sube de 0,7 a 1%). Estas diferencias composicionales no necesariamente serían indicadores del uso de un material diferente para la soldadura. Según Bergsøe: *“en el proceso de solidificación de una aleación fundida se produce un proceso de cristalización diferenciada debido a las temperaturas de fusión distintas, que varía las proporciones elementales desde el interior hacia la superficie”*.

2.- Los resultados de AAN, en los que no se ha detectado Pt, nos llevan a buscar una interpretación. Los métodos analíticos nucleares (FRX, AAN y PIXE) aplicados para el análisis de elementos del grupo del Platino, tienen restricciones metodológicas por las cuales la aplicación de AAN es posible solo luego de realizar tratamientos de preconcentración y en condiciones de irradiación especiales [9].

i.- Estas metodologías especiales si bien posibilitan la detección de Pt, en otro tipo de matriz, a través del decaimiento de  $^{199}\text{Pt}$  (emisiones gamma de 542,7 y 317 keV) que tiene una vida media de 30.8 minutos, o del  $^{199}\text{Au}$  (158,4 y 208,2 keV) que tiene una vida media de 3,13 días; en nuestro caso se tropieza con la dificultad adicional de la interferencia provocada por la activación del  $^{197}\text{Au}$  que por la reacción  $(2n,\gamma)$  también produce  $^{199}\text{Au}$ .

3.- Con relación a los resultados del análisis con microsonda del pigmento y la arcilla adheridos al anillo, principalmente en los intersticios formados entre los alambres, verificamos lo siguiente:

i.- El pigmento está constituido por cristales de hábito cúbico compuestos de Hg y S, de donde sin mucha dificultad se deduce que se trata de cinabrio.

ii.- La mezcla del pigmento con algún otro material para producir una capa oscura adherida a la superficie y acumulada en los intersticios se analizó con la microsonda y la presencia de Si, Al, Mg, K y Fe, nos sugiere arcilla propia del suelo del entierro.

iii.- El Fe detectado puede estar dentro de la arcilla o también como óxido, tal y como se observa en el resultado obtenido por MET. En este último caso, debido a que se detecta en pequeña cantidad (solo 1%) no creemos que sea un óxido de hierro añadido intencionalmente sino más bien de ocurrencia natural en el suelo.

## 5. Conclusiones

De los análisis realizados a las piezas de oro de Morro de Éten por AAN, FRX, EDAX se concluye que:

- El Pt de elevado punto de fusión no llega a fundirse en la matriz de Au, Ag y Cu, quedando al parecer como pequeñas inclusiones.

- La presencia de Pt en las piezas no podría ser utilizada en este caso como un indicador de la proveniencia del oro [1], ya que de acuerdo con la información disponible, el Pt se encontraría en placeres en varias localidades hacia el centro y oriente del Perú (comunicación personal de Atilio Mendoza, setiembre 2009), en donde en algunos casos las inclusiones de Pt puro alcanzan tamaños

mayores a 250 micrones.

- En el caso del anillo, el análisis con microsonda revela que la distribución de Pt no es homogénea, reforzando la hipótesis que el Pt no se ha mezclado con la matriz sino que ha quedado disperso en inclusiones muy pequeñas, que podrían incluso pasar desapercibidas en un estudio metalográfico.

- La unión del anillo, si bien presenta alguna diferencia química con el resto del cuerpo, no podemos asegurar que se ha realizado por soldadura indirecta, con material de soldadura, ya que las diferencias en las proporciones de los metales (Au, Ag, Cu, Pt) se pueden explicar como resultado de los procesos de fusión y solidificación.

- Se observa que el análisis por activación neutrónica en el caso del estudio de piezas de oro para detección de Pt, no contribuye en gran medida debido a la activación del isótopo  $^{197}\text{Au}$  y a la presencia del elemento en interés a nivel de trazas.

- De los análisis realizados sobre el colgante vemos que se trata de la pieza con el más elevado contenido de Au (93 %) y bajo contenido de Ag y Cu. Esto sugiere que este oro tiene un origen geológico diferente al de las otras piezas o ha sido tratado de manera distinta para su refinación.

- El análisis del polvo adherido a la superficie del anillo revela que se trata de cinabrio, mientras que el óxido de hierro identificado por el patrón de difracción de electrones en el MET al parecer no habría sido añadido de manera intencional como sugiere Elera (1986).

- Vemos que en las piezas analizadas el platino aparece como elemento asociado, y que no se trabajó como metal en ninguna pieza de Morro de Éten, ni de ninguna otra pieza precolombina peruana que hasta la fecha se conozca, como si ocurrió en Ecuador. Aún es pronto para saber si los orfebres que manufacturaron las piezas de Morro de Éten eran conscientes de que trabajaban con una aleación diferente. ¿Ayudó esto de alguna manera a desarrollar nuevas tecnologías en el trabajo de los objetos de oro? ¿Buscarían el color que esta aleación proporcionaba a los objetos? Son interrogantes que aún no podemos contestar. Si bien no todas las piezas de Morro de Éten tienen platino, no sabemos si su presencia fue intencional o no. En todo caso, se han

planteado estas preguntas que esperamos puedan ser resueltas por futuros estudios.

## 6. Agradecimientos

Al doctor Carlos Elera por facilitarnos las piezas y la información respectiva, al Grupo de Análisis por Activación Neutrónica del Instituto Peruano de Energía Nuclear por el análisis realizado a una de las muestras en estudio y al doctor Alcides López, experto en Microscopía Electrónica de Transmisión, por su apoyo al analizar la muestra de pigmento extraído del anillo.

## 7. Bibliografía

- [1]. Schlosser S, Kovacs R, Pernicka E, Günther D, Tellenbach M. Fingerprints in Gold. En: Reindel M, Wagner G, eds. *New Technologies for Archaeology*. Berlin: Springer-Verlag, Heidelberg; 2009. p. 409-436.
- [2]. Bergsøe Paul. The metallurgy and technology of gold and platinum among the pre-Columbian Indians. 1937. *Ingenioervidenskabelige Skrifter A44*: 22-25, Copenhagen. Traducido como *Metalurgia y tecnología de oro y platino y proceso de dorado y metalurgia de cobre y plomo entre los indios precolombinos*. Tr. C. Plazas, A. Bright y V. A. Roza, Editor C. Plazas, Colombia, 1982. 1-34.
- [3]. Lothrop S K. Gold ornaments of Chavin Style from Chongoyape. Peru. *American Antiquity* 3: Menasha, Wisconsin. 1941, p. 250-262.
- [4]. Elera C. Investigaciones sobre patrones funerarios en el sitio formativo de Morro de Étén, valle de Lambayeque, costa norte del Perú. [Memoria de Bachillerato]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Especialidad de Arqueología. Lima; 1986.
- [5]. Kaulicke P. Los orígenes de la civilización andina. En: Del Busto Antonio, ed. *Historia del Perú*. Tomo I. Lima: Editorial Brasa; 1994.
- [6]. Lechtman H. Technical examination of a gold-alloy object from Chavín de Huántar. En: Burger Richard, ed. *The Prehistoric Occupation of Chavín de Huántar, Perú*. University of California Press; 1984. p. 271-276.
- [7]. Burger R. Chavin. *Andean Art at Dumbarton Oaks*. Vol. 1. Elizabeth Hill Boone, ed. Washington D.C.; 1996. p. 45-86.
- [8]. Onuki Y. Ocho tumbas especiales de Kuntur Wasi. *Boletín de Arqueología PUCP*. 1997; 1:79-114.
- [9]. International Atomic Energy Agency. Nuclear analytical methods for platinum group elements. IAEA-TECDOC-1443. Vienna: IAEA; 2005.

## Descifrando algunas piezas de metal de la colección Versteylen mediante el uso de técnicas analíticas nucleares

Paula Olivera<sup>1,\*</sup>, Pilar Portocarrero<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Museo de "Arqueología Josefina Ramos de Cox", Instituto Riva-Agüero, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima 1, Perú

### Resumen

Se ha analizado algunas piezas pertenecientes a la colección Versteylen que actualmente se encuentra en custodia del Museo de Arqueología "Josefina Ramos de Cox" del Instituto Riva-Agüero de la Pontificia Universidad Católica del Perú para caracterizar el material con que fue elaborado, y descifrar algunas de las interrogantes que el grupo de investigación ha planteado; como conocer el tipo de material que pudieron haber utilizado en su fabricación, y en base a los resultados obtenidos proponer el posible uso y procedencia del objeto. Del análisis por Fluorescencia de Rayos X aplicados a las diferentes muestras se deduce que las piezas analizadas son aleaciones ternarias Oro-Plata-Cobre (Au/Ag/Cu) probablemente de uso ritual y aleaciones binarias (Cu/As) que podrían indicarnos su procedencia de la costa norte del Perú.

### Abstract

Some pieces belonging to the Versteylen collection have been analyzed. This collection at present in finds in custody of the "Josefina Ramos de Cox" Museum of the Instituto Riva-Agüero of the Pontificia Universidad Católica del Perú. The objective is to characterize the materials with which the pieces has been elaborate and to decipher some of the questioning that the research team have presented, as the kind of materials that could have utilized in its production, then in base to the results obtained to propose the possible use and origin of the specimens. From the X-Rays Fluorescence analysis applied to the different samples is deduced that the pieces analyzed are ternary alloys Gold-Silver-Copper (Au/Ag/Cu) probably of use ritual and binary alloys Copper-Arsenic (Cu/As) that would be able to indicate us their origin of the north coast of Peru.

### 1. Introducción

Los especímenes de metal analizados en el presente trabajo forman parte de la colección donada por la familia del Sr. Edouard Versteylen al Museo de Arqueología "Josefina Ramos de Cox" del Instituto Riva-Agüero de la Pontificia Universidad Católica del Perú el año 2003. La colección esta conformada principalmente por piezas de cerámica y textiles. Los especímenes de metal suman en total 36, entre tumis, herramientas agrícolas, algunas pinzas y diversos implementos. Al tratarse de objetos donados se desconoce el contexto al que pertenecen, es decir, su lugar de procedencia, período al que pertenecen y el material asociado a ellos e incluso de algunos, se desconoce su función exacta. Cabe la posibilidad de que podría tratarse de objetos asociados a algunas de las piezas de cerámica o textiles de la misma colección, los cuales

han sido identificados por sus características estilísticas como procedentes de la costa norte y sierra sur del Perú.

El objetivo de este trabajo es proporcionar información sobre la composición química, para descifrar algunas interrogantes que conduzca al investigador a conocer el tipo de material que pudieron haber usado en su fabricación; y a partir de allí, proponer el posible uso y procedencia del bien al cual perteneció.

La técnica analítica usada en esta investigación es la de Fluorescencia de Rayos X (FRX). Esta técnica conocida por su carácter no destructivo, es ampliamente solicitada para la determinación de los elementos de interés para diferentes estudios de investigación, tanto para muestras

---

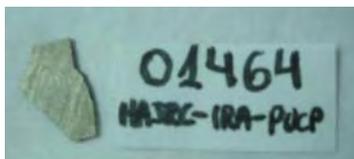
\* Correspondencia autor: polivera@ipen.gob.pe

orgánicas como inorgánicas, tales como minerales, cerámicas, huesos, textiles, etc. Consiste en irradiar una parte de la superficie de la muestra con un haz de rayos X o fotones gamma de energía suficiente, como para extraer un electrón interno de los átomos en estudio provocando la inestabilidad instantánea de los mismos, para emitir sus rayos X característicos que permiten identificarlos y cuantificarlos. La información que proporciona permite caracterizar un material para su autenticación, determinación de procedencia o para plantear procedimientos de restauración en objetos arqueológicos.

## 2. Procedimiento Experimental

### 2.1 Toma de muestras

Se analizaron las siguientes muestras:



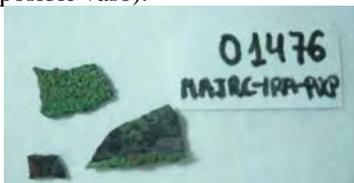
Objeto: Lamina N° Inventario: 01464



Objeto: Implemento N° Inventario: 01469 asociado a textil



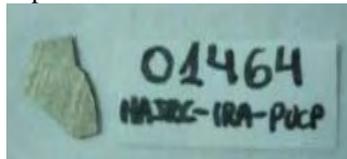
Objeto: Implemento N° Inventario: 01470 (posible vaso).



Objeto: Tumi N° Inventario: 01476



Objeto: Implemento N° Inventario: 01485



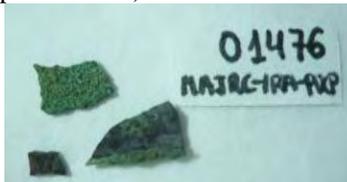
Objeto: Lamina N° Inventario: 01464



Objeto: Implemento N° Inventario: 01469 asociado a textil



Objeto: Implemento N° Inventario: 01470 (posible vaso).



Objeto: Tumi N° Inventario: 01476



Objeto: Implemento N° Inventario: 01485

### 2.2 Preparación de muestras

Las piezas fueron limpiadas con aire a presión y escobilla de cerdas de camello; posteriormente, lavados con agua bi destilada y acetona para secarlos a temperatura ambiente. La irradiación con una fuente anular de Cd-109 y la medición se hizo individualmente durante 500 segundos. La adquisición de datos se llevó a cabo con un sistema de espectrometría de rayos X, constituido principalmente por un detector de alta resolución, de Si (Li) marca CANBERRA Modelo SL 30165 (Resolución 165 eV para 5.89 KeV) y un Analizador Multicanal PCAII The Nucleus. La evaluación de los espectros e identificación de los elementos presentes en las muestras se

hizo utilizando el Software Quantitative X Ray Analysis System (QXAS) proporcionado por el Organismo Internacional de Energía Atómica.



Dispositivo de irradiación para FRXED

### 3. Resultados y Discusión

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos:

**Tabla 1.** Concentración elemental de las piezas estudiadas.

Elemento	MAJRC-IRA-PUCP-01464	MAJRC-IRA-PUCP-01469	MAJRC-IRA-PUCP-01480
Fe (%)	0.8	0.5	ND
Cu (%)	93.6	96.6	98
As (%)	3.9	3.0	2
Ag (mg/cm <sup>2</sup> )	1.6 **	ND	0.4*
Au (µg/cm <sup>2</sup> )	5.6 **	ND	ND
Pb (ppm)	26232	ND	ND

\* Esta pieza al parecer está bañado de Plata por ambos lados.

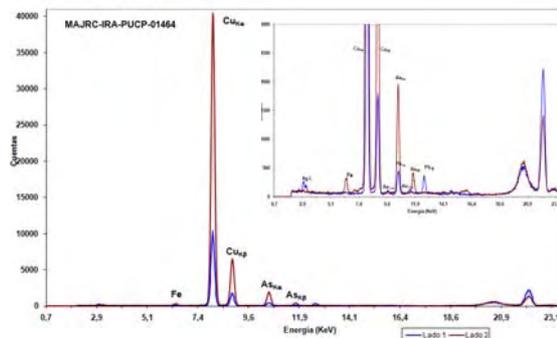
\*\* Baño de Plata y Oro en una de las caras de la pieza, obsérvese el espectro de la muestra 1.

Elemento	MAJRC-IRA-PUCP-01470	MAJRC-IRA-PUCP-01471	MAJRC-IRA-PUCP-01479
Cu (%)	96.6	96.8	97.8
As (%)	3.4	3.2	2.2

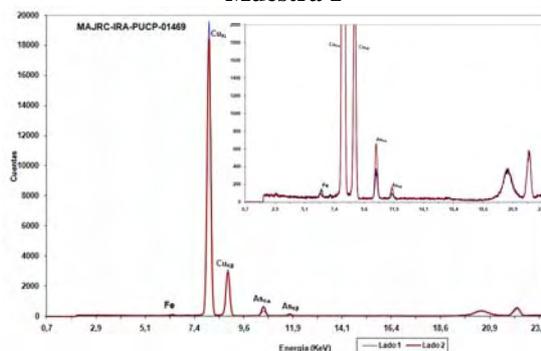
Elemento	MAJRC-IRA-PUCP-01476 (1)	MAJRC-IRA-PUCP-01476 (2)	MAJRC-IRA-PUCP-01485
Fe (%)	0.2	1.6*	0.3
Cu (%)	97.1	89.1	92.9
As (%)	2.7	5.7	5.7
Pb (ppm)	ND	ND	1549

\* Un lado de la muestra MAJRC-IRA-PUCP-01476 presenta un mayor contenido de Hierro que al parecer se encuentra en forma de óxido.

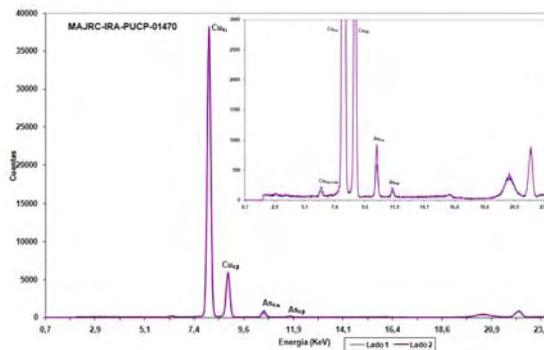
- En la muestra 1 (MAJRC-01464) se observa de que se trata de una aleación ternaria Au-Ag-Cu, teniendo al Cu como elemento mayoritario y el Au y Ag en cantidades menores.



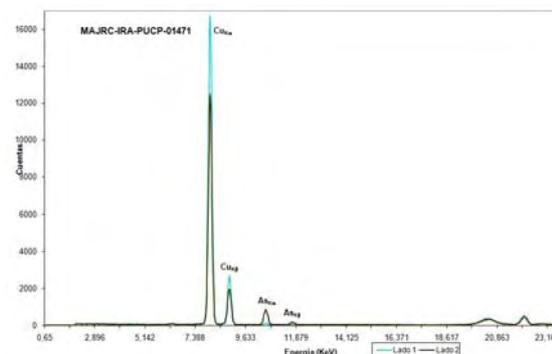
Muestra 1



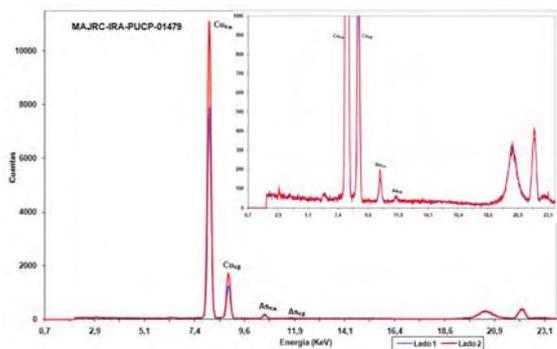
Muestra 2



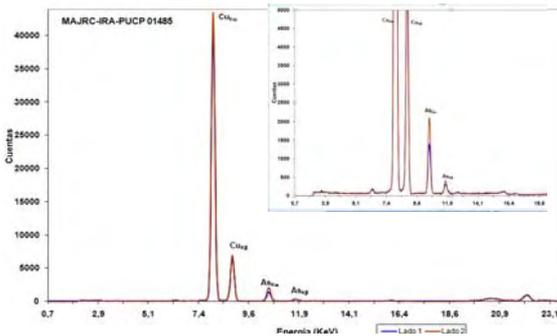
Muestra 3



Muestra 4



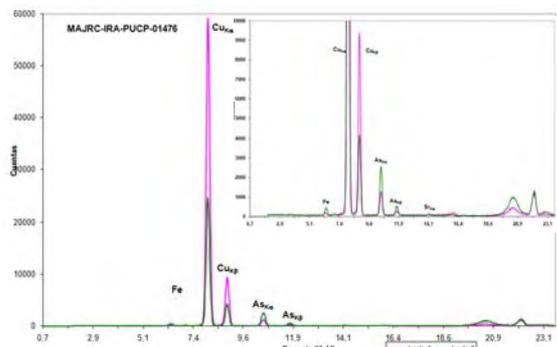
**Muestra 6**



**Muestra 8**

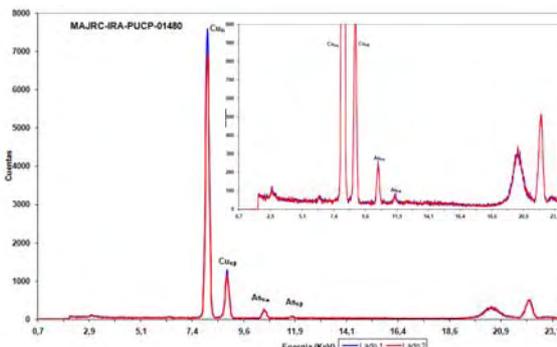
- Las muestras 2 (MAJRC-01469), 3 (MAJRC-01470), 4 (MAJRC-01471), 6 (MAJRC-01479) y la 8 (MAJRC-01485) presentan como elemento mayoritario de su composición al Cu y como elemento minoritario al As composición característica en las aleaciones binarias Cu-As (bronce). Se observa también la presencia de Fe en la muestra 2 el cual era empleado como fundente.

- La muestra 5 (MAJRC-01976) es la única que se ha analizado por las dos caras, presentando porcentajes de Cu y As similares en ambas. Un lado de la muestra 5 (MAJRC-01476) presenta un mayor contenido de hierro que al parecer se encuentra en forma de óxido.



**Muestra 5**

- La muestra 7 (MAJRC-01480) presenta porcentajes de Cu y As característicos de los cobres arsenicales (bronces). También se observa la presencia de Ag como traza.



**Muestra 7**

**4. Conclusiones**

Los análisis por Fluorescencia de Rayos X aplicados a las diferentes muestras nos indican que:

a) La muestra 1 (MAJRC-01464) presenta en su composición una aleación ternaria Oro-Plata-Cobre (Au-Ag-Cu). Sin embargo, no podemos deducir la función que cumplía debido a que la muestra es parte de una lámina de forma irregular. No obstante, por el tipo de aleación probablemente se trate de un adorno o de uso ritual.

b) Las muestras 2 (MAJRC-01469), 3 (MAJRC-01470), 4 (MAJRC-01471), 5 (MAJRC-01476) y la 6 (MAJRC-01479) están elaboradas por una aleación binaria Cobre-Arsénico, elementos usuales en los objetos de bronce arsenical procedentes principalmente en la costa norte del Perú [1,3,4], lo que nos sugiere que se tratarían de piezas procedentes de dicha zona.

c) En caso de las muestras 2 (MAJRC-01469), 3 (MAJRC-01470), 4 (MAJRC-01471) y 8 (MAJRC-01485) no podemos determinar con certeza que función tenían ya que no presentan formas usualmente halladas en la bibliografía; sin embargo, el alto contenido de arsénico en la aleación nos indicaría que se trataría de objetos de uso suntuoso ya que cuando la concentración de As es mayor al 3% disminuye la dureza y se vuelven más maleables [3,4], no siendo adecuados para objetos de uso utilitario.

d) La muestra 7 (MAJRC-01480) es una aleación binaria Cobre-Arsénico. Por la presencia de Plata como traza podría tratarse de una pieza bañada en ese metal.

## 5. Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al Museo de Arqueología “Josefina Ramos de Cox” del Instituto Riva-Agüero de la Pontificia Universidad Católica del Perú por facilitarnos las muestras de estudio. A la Dra. Inés del Águila, Directora del Museo de Arqueología “Josefina Ramos de Cox” por sus valiosos comentarios y sugerencias y a la Licenciada María Isabel Fuentealba, conservadora del Museo por los importantes aportes a nuestro trabajo.

## 6. Bibliografía

- [1]. Letchman, Heather, 1978 Temas de Metalurgia Andina. En Ravines, Roger (ed.) Tecnología Andina. Lima. p. 489 -520.
- [2]. Vetter Parodi, Luisa, 2008 Plateros Indígenas en el Virreinato del Perú: Siglos XVI y XVII. 1ra Edición. Fondo Editorial UNMSM. Lima. p. 59-64.
- [3]. Rovira Llorens, Salvador, 1991 Metales y Aleaciones del Antiguo Perú: Evolución de la tecnología metalúrgica. En Los Incas y el Antiguo Perú. Tomo I. V Centenario. Colección Encuentros. España. p. 82-97.
- [4]. Petersen G. Georg, 1970 Minería y Metalurgia en el Antiguo Perú. En Arqueológicas N° 12. Instituto de Investigaciones Antropológicas. Museo Nacional de Antropología y arqueología. Lima. p. 112-115.

## **II. Ciencia de los Materiales**

## Titanium dioxide nanoparticles obtained by Sol Gel Method: Effect of the catalyst acids

María Quintana<sup>1</sup>, Juan Rodríguez<sup>1</sup>, José Solís<sup>1,2,\*</sup>, Roberto Candal<sup>3</sup>, Walter Estrada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Casilla 31-139, Lima, Perú

<sup>2</sup> Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima 41, Perú

<sup>3</sup> FINQUIMAE, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

### Resumen

Nanoanoparticulas de óxido de Titanio han sido obtenidas por el proceso de sol-gel. El isopropóxido de Titanio fue hidrolizado en medio ácido con pHs entre 0.5 y 1. La hidrólisis fue catalizada con HCl, HNO<sub>3</sub> o HClO<sub>4</sub>, y se estudió su influencia en la formación de las fases cristalinas del dióxido de Titanio, como el rutilo, anatasa y brookita. El proceso de peptización fue estudiado con Espectroscopias Visible e Infrarroja. El tratamiento hidrotérmico a 220 °C por 12 h produjo nanopartículas bien definidas, que fueron observadas por Microscopía Electrónica de Transmisión. La estructura cristalina fue estudiada por difracción de rayos X. Solamente la fase anatasa se obtuvo cuando se usó HClO<sub>4</sub>, sin embargo usando HCl y HNO<sub>3</sub> la razón entre anatasa/rutilo está relacionado con el pH de la solución inicial y la cantidad de la fase de anatasa se incrementa cuando el pH de la solución se incrementa. Algunas muestras presentan trazas de la fase brookita.

### Abstract

Titanium dioxide nanoparticles have been obtained by sol-gel process. Titanium isopropoxide was hydrolized in acidic medium at pH values between 0.5 and 1. The hydrolysis was catalyzed with HCl, HNO<sub>3</sub> or HClO<sub>4</sub>, and studied their influence in the formation of titanium dioxide crystalline phases, i.e. rutile, anatase and brookite phases. The peptization process was studied with Visible and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopic techniques. Hydrothermal treatment at 220°C for 12 hours permits the fabrication of well defined nanoparticles as it was observed by Transmission Electron Microscopy (TEM). The crystal structure was obtained by X-ray diffraction (XRD). Only the anatase phase was obtained using HClO<sub>4</sub>, however using HCl and HNO<sub>3</sub> the anatase/rutile ratio is related to the pH of the initial acidic solution and the amount of anatase phase has increased when the pH of this solution increased. Some samples have traces of brookite phase.

### 1. Introduction

Nowadays, titanium dioxide is one of the most studied and researched material. Its nanoparticles have multiple applications in several fields such as optical devices, gas sensors, catalysts, solar cells, etc. being a crucial factor how is synthesized. The TiO<sub>2</sub> crystalline phases are rutile, anatase and brookite. Both phases, anatase and rutile, have been used in the sensitized solar cells and as photocatalyzer [1]; mixing of both phases enhanced the photocatalyzer performance [2, 3]. The rutile phase has shown to have a high refractive index and good chemical stability, being appropriate for high temperature applications [4,5].

Several methods and techniques have been implemented to produce TiO<sub>2</sub> nanoparticles,

especially anatase phase. The anatase crystalline phase of TiO<sub>2</sub> has been obtained from aqueous solutions of TiO<sub>2</sub> [6], TiCl<sub>4</sub>[7-9] or TiOCl<sub>2</sub> [10], or by hydrothermal treatment using titanium alcoxides [11-13], including peptization process [14,15]. Complementary process is the hydrothermal treatment that assures not organic molecules remain in the product and a complete crystallization is ensured [16-18].

Among these several methods, the sol-gel allows us the synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles from titanium alkoxide precursors but there is not an established procedure for defining the key conditions to control the fabrication of their different phases. It was reported that anatase and rutile crystalline phases were

\* Corresponding author: jsolis@ipen.gob.pe

obtained by neutralization of  $TiCl_4$  or acidic hydrolysis of  $Ti(OC_2H_5)_4$  with HCl [6], however, hydrolysis of  $Ti(OC_4H_9)_4$  at high acidic conditions with  $HNO_3$  has been reported to generate either rutile [19] or anatase [20] crystalline phases.

Other authors have researched about the pH effect on the  $TiO_2$  nanoparticles, at wide range [21,22,23] using either nitric acid or ammonium in order to adjust the pH. In consequence some properties of titania appears strongly, showing different aggregation, morphology, surface charge and particle size, dependent on acidic or basic medium.

In this work we focus on the effect of using HCl,  $HNO_3$  or  $HClO_4$  in the hydrolysis of titanium isopropoxide for synthesizing anatase and rutile, the two most common crystalline phases of titanium oxide. Our results are referred to a small range of pH in the initial solution, between 0.5 and 1 in which both crystalline structures of  $TiO_2$  were obtained.

## 2. Experimental Procedure

Colloidal solutions were obtained adding slowly drops of titanium isopropoxide (Aldrich 99%) to a vigorous stirred concentrated acidic solution (HCl,  $HNO_3$  or  $HClO_4$ ) at room temperature. The pH of this acidic initial solution was fixed in the range between 0.5 and 1. The resulting solution was heated at  $70^\circ C$  for 2 h to obtain particle peptization, and finally, in order to get the nanoparticles, it was auto-cleaved in a stainless steel chamber at  $220^\circ C$  for 12 h.

After the hydrothermal treatment a transparent solution and a white precipitate was obtained. The white precipitated was washed and dried at  $100^\circ C$  overnight in a dry oven.

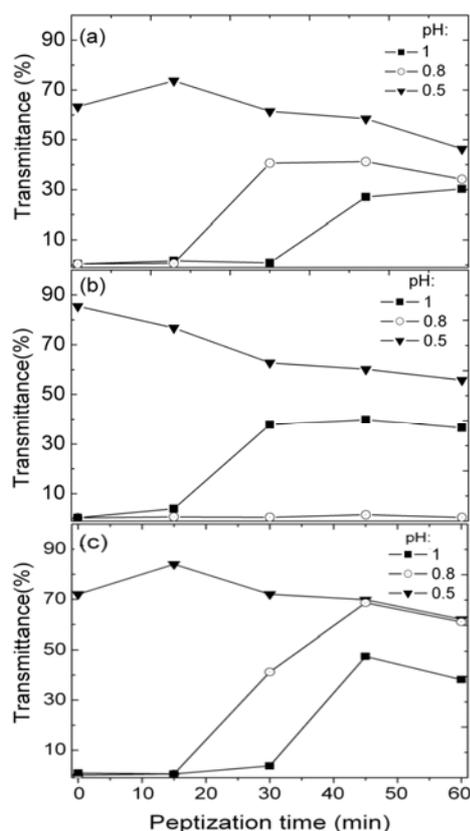
## 3. Results

### 3.1 Peptization characterization

After the hydrolysis,  $1\text{ cm}^3$  of each homogeneous peptized solution was filled in a quartz cell and its optical transmittance at 550 nm was monitored by using an Optometrics RS 350 single beam spectrophotometer. Figure 1 shows the optical transmittance measured at 550 nm of the hydrolyzed colloidal solutions prepared

from acidic medium of HCl,  $HNO_3$ , or  $HClO_4$  with different pHs as a function of the peptization time. The optical transmittance of the colloidal solutions prepared from HCl and  $HClO_4$  has similar behavior (Figs. 1 a and c), when pH decreases accelerated the transparency of the solution.

For colloidal solutions hydrolyzed with  $HNO_3$ , there is not correlation (Fig. 1b) between the pH and transmittance, although the sample with the lowest pH is the most transparent.

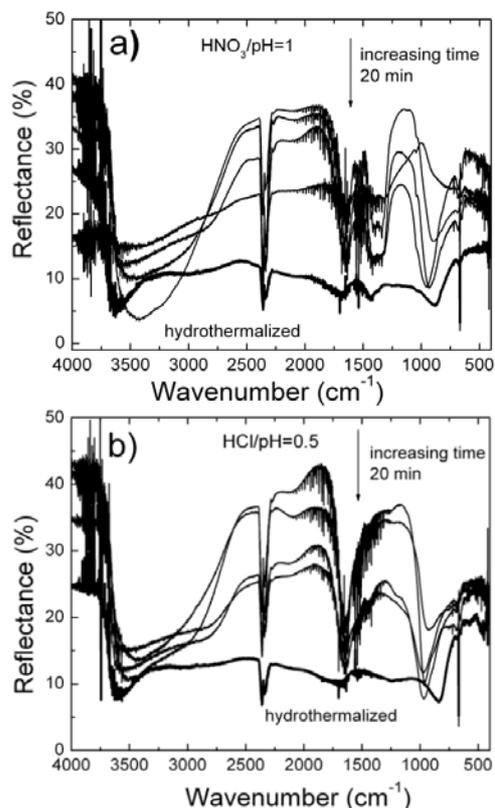


**Figure 1.** Transmittance at 550 nm of the hydrolyzed colloidal solutions prepared from acidic medium of (a) HCl, (b)  $HNO_3$ , or (c)  $HClO_4$  with different pHs as a function of the peptization time.

### 3.2 Characterization of particles before and after hydrothermal process

Fig. 2 shows the Fourier Transform Infrared Reflectance (FTIR) spectra for titanium dioxide particles obtained from two different catalyst acids (HCl,  $HNO_3$ ), during the peptization (fine line) and after (bold line) the hydrothermal process. The samples were dried onto a glass substrate and an aluminum mirror was used as the reflectance reference. It is observed that the absorption peak around

$1000\text{ cm}^{-1}$  (which can be ascribed to Ti-O group) is shifted with time to lower wavenumbers, and after the hydrothermal process this absorption peak takes place at  $960\text{ cm}^{-1}$ . The intensity peaks associated to  $\text{CO}_2$  ( $2340\text{ cm}^{-1}$ ) and OH (around  $1700\text{ cm}^{-1}$ ) decreased.



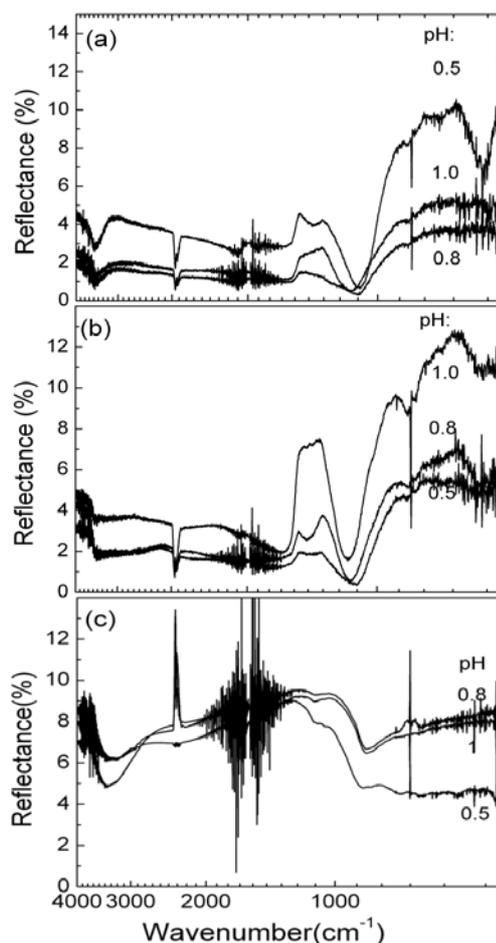
**Figure 2.** FTIR spectra of different colloidal solutions hydrolyzed with (a) HCl (pH=0.5) and (b)  $\text{HNO}_3$  (pH=1) at different peptization times compare with hydrothermalized samples.

Fig. 3 shows the  $\text{TiO}_2$  FTIR spectra prepared from acidic medium of HCl,  $\text{HNO}_3$ , or  $\text{HClO}_4$  with different pHs. The absorption peak around  $3600\text{ cm}^{-1}$  (see Figs. 3a,b,c) can be assigned to the stretching vibrations of different O-H hydroxyl groups. Typical Ti-O vibrations group are identified at  $960\text{ cm}^{-1}$  [24]. It is observed that when HCl and  $\text{HNO}_3$  are used the absorption peak is shifted from  $960\text{ cm}^{-1}$  towards higher wavenumbers concomitant to the pH from 0.5 to 1.0. When  $\text{HClO}_4$  was used, this behavior was not observed. It was also identified peaks at 667, 580 and  $465\text{ cm}^{-1}$  corresponding to Ti-O and Ti-O-Ti groups [24, 25].

### 3.3 Structural characterization of particles

In order to identify the different crystalline

phases of  $\text{TiO}_2$ , X-ray diffraction (XRD) measurements were performed in a Philips X'pert diffractometer. The influence of the acidic medium in the XRD patterns of the  $\text{TiO}_2$  is observed in Fig 4. The X-ray diffractograms of  $\text{TiO}_2$  powder obtained from HCl and  $\text{HNO}_3$  hydrolysis are shown in Figs 4a and 4b, respectively. From the diffractograms it can be deduced that both anatase and rutile phases are present; the anatase is promoted at pH~1, and when the pH decreased the rutile proportion increased. Whereas the  $\text{TiO}_2$  powder obtained from  $\text{HClO}_4$  hydrolysis is mainly anatase at the pH studied and small amount of brookite.



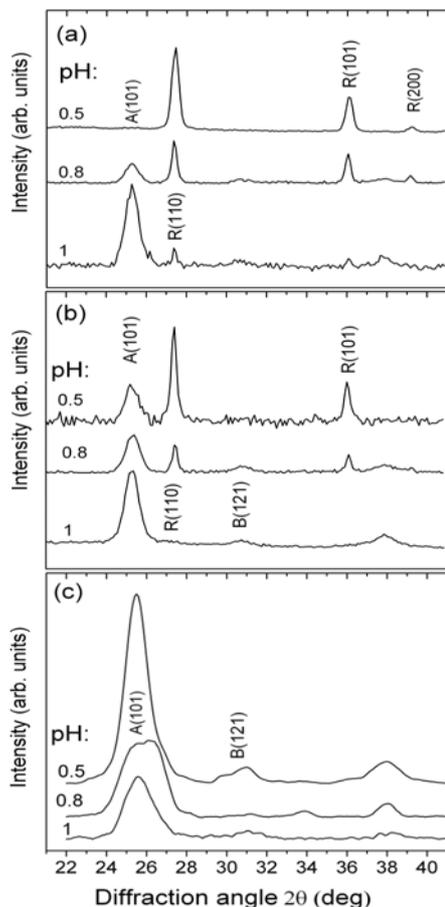
**Figure 3.** FTIR spectra from  $\text{TiO}_2$  colloidal solutions hydrolyzed with (a) HCl, (b)  $\text{HNO}_3$ , and (c)  $\text{HClO}_4$  after hydrothermal treatment.

The grain size,  $D$ , was calculated by using the Scherrer's equation:

$$D = 0.94 \lambda / (\beta \cos \theta), \quad (1)$$

here  $\theta$  is the Bragg's angle of diffraction for the peak,  $\lambda$  is the X-ray wavelength in the  $K_\alpha$  band for Cu, equal to  $1.54\text{ \AA}$ , and  $\beta$  is the full width at half of the maximum diffraction

peak. Table 1 shows the grain size of the fabricated powders; the crystalline grain size of the anatase phase is between 8 nm and 12 nm, whereas the crystalline grain size of rutile is in the range of 17 nm and 33 nm. The anatase proportion,  $A_p$ , was estimated using the intensity of the rutile peak at the (100) plane,  $I_{rutile}(100)$ , and the anatase peak at the (101) plane,  $I_{anatase}(101)$ , by the relation [26].



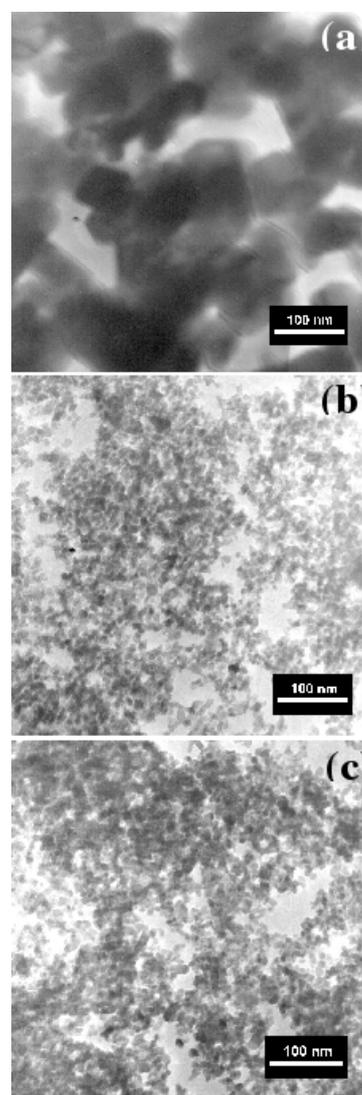
**Figure 4.** X ray diffraction patterns of  $\text{TiO}_2$  powders obtained with different pH using (a) HCl, (b)  $\text{HNO}_3$  and (c)  $\text{HClO}_4$  in titanium isopropoxide hydrolysis.

$$A_p = (1 + 1.265 I_{rutile}(110)/I_{anatase}(101))^{-1} \quad (2)$$

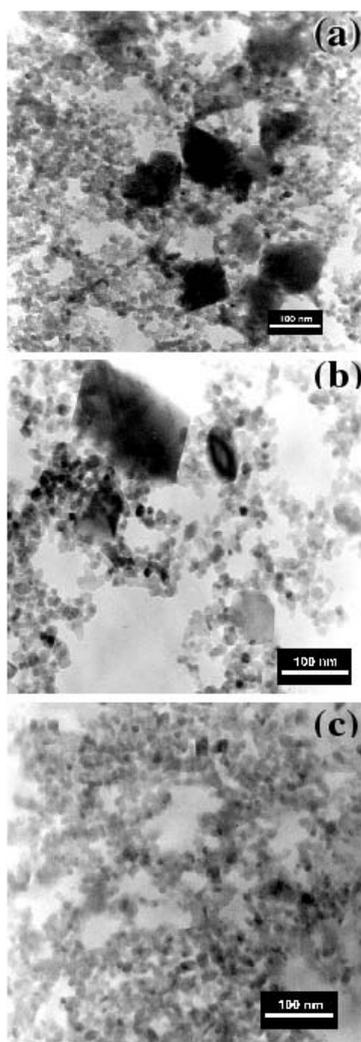
Table 1 shows the results of the calculated  $A_p$  values; it can be deduced from those results that the pH has an influence of modulation of the crystalline phase proportion; for example, at pH  $\sim 1$ , the use of  $\text{HNO}_3$  in the hydrolysis shows to be more efficient to promote the anatase phase than the HCl, whereas the use of  $\text{HClO}_4$  did not promote the rutile phase at all.

**Table 1.** The grain size of anatase,  $D_{anatase}$ , of rutile  $D_{rutile}$  and the anatase proportion,  $A_p$ , and corresponding pH of the acidic solution and hydrolysed with HCl,  $\text{HNO}_3$  and  $\text{HClO}_4$ .

	pH	$D_{Anatase}$ (nm)	$D_{Rutile}$ (nm)	$A_p$
HCl	0.5	-	17	0
	0.8	10	33	0.26
	1.0	10	28	0.78
$\text{HNO}_3$	0.5	10	22	0.25
	0.8	13	25	0.52
	1.0	12	-	1
$\text{HClO}_4$	0.5	16	-	1
	0.8	6	-	1
	1.0	8	-	1



**Figure 5.** TEM micrographs of  $\text{TiO}_2$  powders hydrolyzed with HCl at a) pH=0.5, b) pH=0.8 and c) pH=1.0.



**Figure 6.** TEM micrographs of  $\text{TiO}_2$  powders hydrolyzed with  $\text{HNO}_3$  at a)  $\text{pH}=0.5$ , b)  $\text{pH}=0.8$  and c)  $\text{pH}=1.0$ .

### 3.3 Morphological characterization of particles

Particles morphology was studied with STEM Philips EM-400 instrument operated at 80 kV. Figs. 5, 6 and 7 show the micrographs of particles obtained at different pH of the hydrolysis using  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$  and  $\text{HClO}_4$ , respectively. When  $\text{HCl}$  was used in the hydrolysis (Fig. 5), it is observed that particles size are of the order of 100 nm in which nanopowders prepared at  $\text{pH}=0.5$  were slightly larger than those prepared with either  $\text{pH}=0.8$  or  $\text{pH}=1$ . In the case of  $\text{HNO}_3$  a mix of large particles ( $\sim 100$  nm size) and particles of the order of 20 nm are observed (Fig. 6). This can be conciliated with the presence of two crystalline phases in the nanopowders fabricated using  $\text{HNO}_3$  at  $\text{pH}=0.5$  as observed by X-ray diffraction, in which larger particles

should correspond to rutile crystallites and the smaller ones to anatase. This fact is also observed in Fig. 6b, in which a mix of phases were identified by X-ray diffraction, but not in Fig. 6c, in which only anatase is present. Finally, when  $\text{HClO}_4$  was used (Fig. 7) a mix of large particle (100 nm size) and particles of the order of 20 nm is observed.

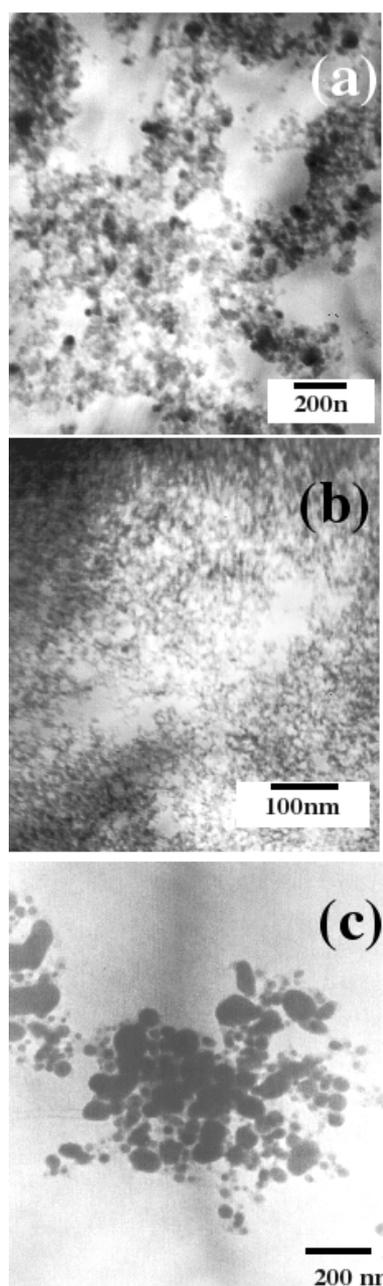
## 4. Discussion

Titanium dioxide nanoparticles preparation by sol-gel involves two principal steps: Precipitation of  $\text{Ti(IV)}$  ions from alcoxides and then acidic peptization. It was reported that unpeptized precipitated is amorphous and after peptization process it is obtained a crystalline phase [27]. Transmittance of the hydrolyzed solutions depict some tendency: after one hour titania nanoparticles have a defined structure, hence samples transmittance are in a well defined range (30 – 50%).

Peptization process involves redispersion in acidic solution of titanium(IV) precipitates from hydrolysis. This acidic solution causes proton adsorption onto the surface of the precipitates making them positively charged. Particles of the amorphous aggregate once formed with a loose bonding broke down into smaller particles and an equilibrium was reached at last. At that time, the particles were so small that the suspension became optically transparent, that we can see in transmittance spectras. We can accentuate that at lower pH corresponds higher transmittance in all the samples, That means  $\text{H}^+$  ions in the acidic solution rearranged the particles.

According to the ligand field theory, in solution titanium(IV) ions exist as six-fold coordinated structural units, where the fundamental structural units in all the three  $\text{TiO}_2$  crystals (namely anatase, rutile and brookite) are  $[\text{TiO}_6]$  octahedron, having different modes of arrangement and links [27]. In the rutile form,  $\text{TiO}_6$  octahedra link by sharing an edge along the c-axis to form chains. These chains are then interlinked by sharing corner oxygen atoms to form a three-dimensional framework, whereas in anatase, the three-dimensional framework is formed only by edgeshared bonding among  $[\text{TiO}_6]$  octahedrons. Then rutile or anatase phase could be formed, depending on whether  $-\text{OH}$

or oxo-bridges are formed between the two metal centers during condensation.



**Figure 7.** TEM micrographs of  $\text{TiO}_2$  powders hydrolyzed with  $\text{HClO}_4$  at a)  $\text{pH}=0.5$ , b)  $\text{pH}=0.8$  and c)  $\text{pH}=1.0$ .

Results indicate the important role of the catalytic acids in the hydrolysis for determining the crystalline phases of the  $\text{TiO}_2$  powders.  $\text{TiO}_2$ -nanopowders subjected to hydrothermal processes, in which  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$  and  $\text{HClO}_4$  acids were used in the hydrolysis with  $\text{pH}$  between 0.5 and 1, show that the grain size of neither anatase nor rutile phases have a concomitant dependence of the  $\text{pH}$  [28], but the kind of phase is highly depending on  $\text{pH}$  of  $\text{HCl}$  and  $\text{HNO}_3$ .

Nanoparticles obtained from hydrolysis using  $\text{HClO}_4$  give only anatase structure, whereas those obtained from  $\text{HCl}$  or  $\text{HNO}_3$  with low  $\text{pH}$  ( $\sim 0.5$ ) promote structures with the predominance of rutile phase, and those with  $\text{pH} \sim 1$  promotes the anatase phase. The anatase phase obtained from low concentration (higher  $\text{pH}$ ) of  $\text{HCl}$  is in agreement with the  $\text{HCl}$  peptization of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles from metatitanic acid [29] and with the different acidic hydrolysis of titanium n-butoxide [30]. This can be understood considering that structural rearrangement of  $\text{TiO}_2$  octahedral units into the amorphous  $\text{TiO}_2$  is essential for the formation of anatase or rutile nuclei and it has been documented that  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{Cl}^-$  anions present some degree of affinity to a titanium atom in an aqueous solution [31] which could go in favor of the rearrangement of  $\text{TiO}_2$ . On the other hand the fact that  $\text{ClO}_4^-$  has stronger affinity than  $\text{NO}_3^-$  and this in turn stronger affinity than  $\text{Cl}^-$  to a titanium atom, the anatase phase is better promoted in  $\text{HClO}_4$  than in  $\text{HNO}_3$ , and this in turn better than in  $\text{HCl}$  medium, as it was deduced from X-ray diffraction measurements. This result is in agreement with that reported elsewhere [30]. Consequently, as mentioned above, acidity seems to play an important role in the phase transformation and crystal growth [13], but from these results the anionic “environment” is also an important factor to be consider for the promotion of the anatase phase, particularly it is strike the role of the anionic radius which in the following order  $\text{HCl} < \text{HNO}_3 < \text{HClO}_4$  promote from less to more the anatase phase under the same acidity conditions.

## 5. Conclusions

We have obtained nanoparticles of  $\text{TiO}_2$  by sol-gel method by using hydrolysis of titanium isopropoxide under large  $\text{H}^+$  concentrations ( $\text{pH}$  between 0.5 and 1). Catalyst acids of the hydrolysis were  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$  and  $\text{HClO}_4$ . In the range of work, for  $\text{HCl}$  and  $\text{HNO}_3$ , the use of low  $\text{pH}$  values goes in favor of the formation of the rutile phase, whereas high  $\text{pH}$  values goes in favor of the formation of anatase, independent from the type of acid. The anatase particles and crystalline grain sizes were always smaller than those of rutile. The proportion of the anatase crystalline phase is promote better by

HClO<sub>4</sub> than HNO<sub>3</sub> and this better than HCl; an important factor seems to be that ClO<sub>4</sub><sup>-</sup> anions have stronger coordination ability to a titanium atom than both NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and Cl<sup>-</sup> anions.

## 6. Acknowledgments

This work was partially supported by SOLWATER project ICA4-CT-2002-10001, ASO Project AE 141/2001 and the International Science Programme of the Uppsala University and the Peruvian science and technology through the project 466-2004-CONCYTEC-OAJ. A. López is thanked by TEM pictures.

## 7. References

- [1] O'Regan B, Grätzel M. *Nature* 1991; 353:737-740.
- [2] Berry RJ, Mueller MR. *Microchem. J.* 1994; 59:28-32.
- [3] Tanaka K, MFV Capule, Hisanaga T. *Chem. Phys. Lett.* 1991; 187:73-76.
- [4] Rayne H, *Organic Coating Technology Vol. II*, New York (EE.UU.): Willey, 1961, pp. 751.
- [5] Kumar K-NP, Ketzer K, Burggraaf A. J. *Mater. Sci. Lett.* 1994; 13:59-61.
- [6] Yanagisawa K, Ovenstone JJ. *Phys. Chem. B.* 1999; 103:7781-7787.
- [7] Cheng H, Ma J, Zhao Z, Qi L. *Chem. Mater.* 1995; 7:663-671.
- [8] Park J-K, Kim H-K. *Bull Korean Chem. Soc.* 2002; 23:745-748.
- [9] Okuya M, Prokudina NA, Mushika K, Kaneko S. *J. of the European Ceram. Soc.* 1999; 19:903-906.
- [10] Kim S-J, Park S-D, Hwan Jeong Y. *J. Am. Ceram. Soc.* 1999; 82:927-932.
- [11] Wen T, Gao J, Shen J, Zhou Z. *J. Mater. Sci.* 2001; 36:5923-5926.
- [12] Falaras P., Xagas AP. *J. Mater. Sci.* 2002; 37:3855-3860.
- [13] Sugimoto T, Zhou X, Muramatsu A. *J. Colloid and Int. Sci.* 2002; 252 339-346.
- [14] Yoldas BE. *Am. Ceram. Soc. Bull.* 1975; 54:286-288.
- [15] Bischoff BL, Anderson M. *Chem. Mater.* 1995; 7:1772-1778.
- [16] Oguri Y, Riman RE, Bowen HK. *J. Mater. Sci.* 1988; 23:2897-2904.
- [17] Sugimoto T, Okada K, Itoh H. *J. Colloid Interface Sci.* 1997; 193:140-143.
- [18] Matijevic E. *J. Colloid Interface Sci.* 1977; 61:302-311.
- [19] Tang Z, Zhang J, Cheng Z, Zhang Z. *Mat. Chem. and Phy.* 2002; 77:314-317.
- [20] Barbé CJ, Arendse F, Comte P, Jirousek M, Lenzmann F, Shklover V. Christophe, Grätzel M. *J. Am. Ceram. Soc.* 1996; 80:3157-3171.
- [21] Mahshid S., Askari M., Sasani Ghamsari M. *J. Mat. Proc. Tech* 2007; 189:296-300
- [22] Zhang W., Chen S., Yu S., Yin Y. *J. Crystal Growth* 2007; 308:122-129.
- [23] Yu J., Su Y., Cheng B., Zhou M. *J. Molec Cat A: Chemical* 2006; 258:104-112
- [24] Burgos M, Langlet M. *Thin Solid Films* 1999; 349:19-23.
- [25] Lopez T, Sanchez E, Bosch P, Meas Y, Gomez V. *Mat. Chem. and Phys.* 1992; 32: 141-152.
- [26] Spurr RA, Myers H. *Anal. Chem.*, 1957; 29:760-762.
- [27] Yang S, Liu Y, Guo Y, Zhao J, Xu H, Wang Z. *Mat. Chem. Phys.* 2002; 77:501-506.
- [28] Cot F, Larbot A, Nabias G, Cot L. *J. Eur. Cer. Soc.* 1998; 18:2175-2181.
- [29] Zhang R, Giao L. *Mat. Res. Bull.* 2001; 36:1957-1965.
- [30] Wu M, Lin G, Chen D, Wang G, He D, Feng S, Xu R. *Chem. Mater.* 2002; 14:1974-1980.
- [31] Sanchez C, Livage J, Henry M, Babonneau F. *J. Non-Cryst. Solids.* 1988; 100:65-76.

## Influencia de la orientación y el tamaño de grano de los cristallitos de Al y Fe sobre el alcance de los iones He<sup>2+</sup>

Justo Rojas<sup>1,2,\*</sup>, Modesto Montoya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Peruano de Energía Nuclear, Departamento de Física, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Apartado Postal 4-0149, Lima 14, Perú

### Resumen

Presentamos los resultados preliminares del estudio mediante la simulación con dinámica molecular de los mecanismos de la pérdida de energía y la distribución del alcance de los iones durante la irradiación de Al y Fe con He<sup>2+</sup>. Los resultados muestran que la estructura cristalina, en particular la orientación del cristal, tiene un claro efecto sobre el alcance de los iones. Para los materiales policristalinos, con relación a la influencia del tamaño de granos sobre el alcance de los iones y poder de frenado del material, solo en la región de los nanómetros se observa una dependencia apreciable.

### Abstract

We present the preliminary results of the study by molecular dynamics simulation of the mechanisms of energy loss and the distribution of ion range during the irradiation of Al and Fe with He<sup>2+</sup>. The results show that the crystal structure, in particular the orientation, clearly has effect on the ion range. For polycrystalline materials, regarding the influence of grain size on the ion range and energy deposition, only for grain sizes about 10-100 nm shows a significant dependence.

### 1. Introducción

Los procesos de interacción de las partículas energéticas cargadas, como las partículas alfa (He<sup>2+</sup>), con los diversos materiales son de interés debido a la posibilidad de modificar la estructura, fundamentalmente las capas superficiales, mediante la generación de defectos, desorden atómico, amorfización, nanoestructuración[1-3]. El estudio de aleaciones para la conservación y transporte de materiales radioactivos, es un tema que reviste actualidad [4]. Otra área de mucha importancia tecnológica, relacionado con la propagación de los iones en el material, es la implantación iónica de metales y aleaciones y dopado de semiconductores [5,6]. Usualmente la energía de implantación varía desde decenas de keV hasta MeV. El rango o alcance de implantación depende tanto de la masa y energía del proyectil como de la masa de los átomos del sustrato, la estructura cristalina y orientación del ángulo de incidencia del proyectil.

La simulación con el método de Dinámica Molecular (DM), usando diferentes modelos de potenciales ha demostrado ser una herramienta de mucha utilidad en el estudio de interacción del ion con los diferentes

materiales [7,8].

Teniendo en cuenta la posibilidad de emprender un estudio de materiales más complejos, en el presente trabajo se presenta la implementación del código de DM, MDRANGE [9] aplicado al estudio de la propagación de los iones He<sup>2+</sup> en los metales de Fe y Al. El objetivo es aclarar el efecto de las orientaciones del cristallito y la influencia del tamaño de grano sobre las magnitudes como el alcance y distribución de los iones.

### 2. Metodología y detalles de simulación

El estudio de los problemas planteados se realiza mediante la simulación con el método de DM. Se utiliza el programa MDRANGE, una versión de DM especialmente desarrollado para el caso de energías suficientemente altas. El modelo del sistema consiste de N iones metálicos inmersos en un gas de electrones más una partícula ionizada que representa al proyectil o ion de retroceso.

La interacción entre los iones se describe mediante el potencial de ZBL [10] que tiene en cuenta el efecto del apantallamiento de los electrones libres.

---

\* Correspondencia autor: jrojas@ipen.gob.pe

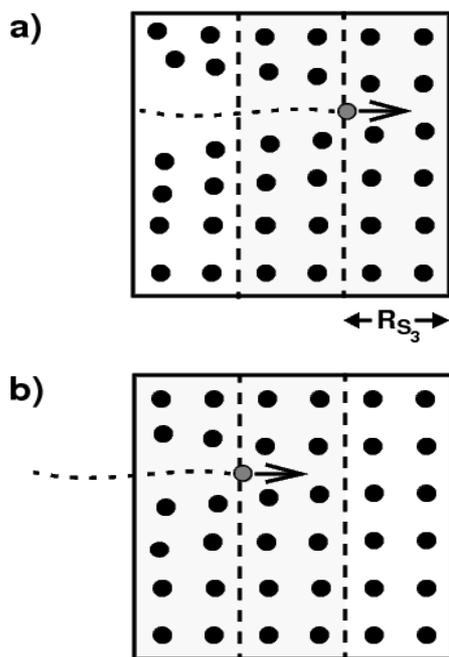
En los cálculos del alcance de los iones y las energías depositadas a altas energías (en la región de los keV), las interacciones entre los iones de retroceso y sus vecinos más cercanos son mucho más fuertes que las interacciones entre los otros átomos de la red cristalina.

Una de las características más resaltantes de MDRANGE es que está implementada la opción de tratar solo las interacciones del ion de retroceso o proyectil. Esta aproximación se conoce como aproximación de interacción de retroceso (RIA, del inglés Recoil Interaction Approximation).

Adicionalmente, en MDRANGE, a diferencia de los programas de DM tradicionales, el paso de tiempo de integración no es constante durante el proceso, lo que permite elevar la eficiencia del programa; además, la celda de simulación viaja junto con el ion de retroceso, como se ilustra en la Figura 1.

#### Detalles de simulación

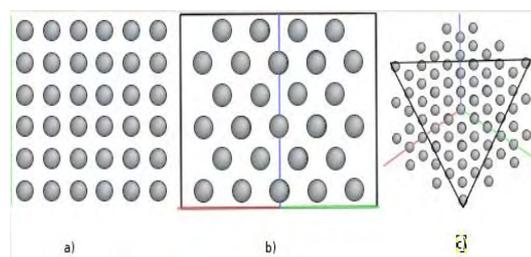
Las principales magnitudes que se han calculado en el presente trabajo son:



**Figura 1.** Vista bidimensional esquemática de cómo los átomos son movidos durante los cálculos del alcance de los iones. a) muestra al proyectil acercándose a una distancia  $R_{S_3}$  del borde de la caja de simulación. Cuando esto ocurre todos los átomos que se encuentran en la parte izquierda son retirados de la celda y nuevos átomos con posiciones no perturbadas son colocadas en el frente del proyectil b).

a) La pérdida de energía de los iones de retroceso o energía depositada en el cristal debido a la interacción con los electrones del sistema (frenado electrónico) y debido a la interacción con los núcleos atómicos (frenado nuclear).

b) Alcance de los iones de retroceso, caracterizado por la distribución o histograma de los iones de retroceso que resultan implantados a cierta distancia a partir del punto de origen. El proceso de seguimiento del ion de retroceso se detiene cuando su energía es menor que cierto valor (en nuestro caso, menor que 1 eV).

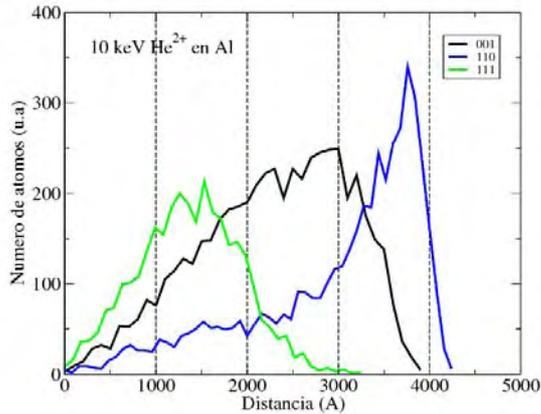


**Figura 2.** Planos cristalográficos en la estructura fcc, perpendiculares a las orientaciones a) [001], b) [110] y c) [111].

### 3. Resultados y Discusión

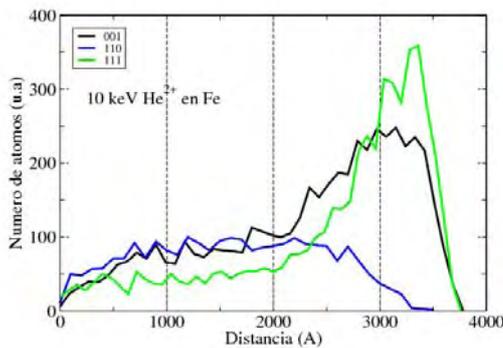
Como es conocido las fases estables a temperatura ambiente de los metales Al y Fe poseen estructura cristalina fcc y bcc, respectivamente. Es de esperar, que durante el proceso de implantación de iones en los monocristales la orientación mutua del cristal y el ion debe influir tanto en las características del alcance como en la distribución de la energía depositada en la red cristalina. Para aclarar estos efectos se ha estudiado la implantación de los iones  $\text{He}^{2+}$  con energía inicial de 10 keV en monocristales de Al y Fe. Se ha estudiado tres orientaciones del haz inicial respecto al monocristal: [001], [110] y [111]. En la Figura 2 se muestran los correspondientes planos cristalográficos para el caso del Aluminio.

En las Figuras 3 y 4 se presentan el alcance de los iones  $\text{He}^{2+}$  implantadas con energía inicial 10 keV a lo largo de diferentes orientaciones en monocristales de Al y Fe, respectivamente.



**Figura 3.** Alcance de los iones  $He^{2+}$  como función de la distancia en la irradiación del Al en dirección de los ejes a) [001], b) [110] y c) [111].

El programa MDRANGE permite calcular varios tipos de alcance: a) proyección sobre determinado eje, b) desplazamiento, es decir el módulo del radio vector que une la posición inicial y final del proyectil, c) la trayectoria o camino recorrido. En el presente trabajo se han calculado el alcance como la proyección sobre el eje en dirección del haz inicial. Como se puede apreciar de la Figura 3 en el Aluminio el alcance es mayor y una distribución más estrecha en la dirección [110]. En dirección [111], es decir perpendicular al plano más densamente ocupado por los átomos el alcance es menor, mientras que el alcance en dirección [001] toma un valor intermedio.

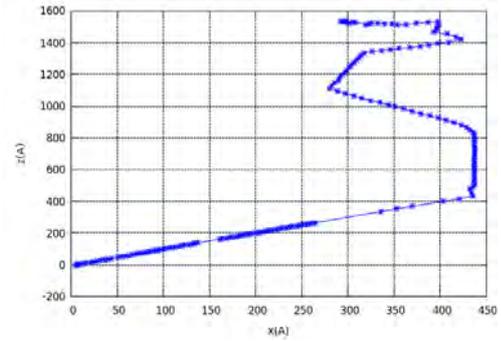


**Figura 4.** Alcance de los iones  $He^{2+}$  como función de la distancia en la irradiación del Fe en dirección de los ejes a) [001], b) [110] y c) [111].

En cambio, en los cristales con estructura bcc los iones de retroceso alcanzan mayor distancia en las direcciones [001] y [111], mientras que en la dirección [110] es mínimo con una distribución ancha. Es decir, la implantación

de los iones se puede canalizar a lo largo de ciertas orientaciones.

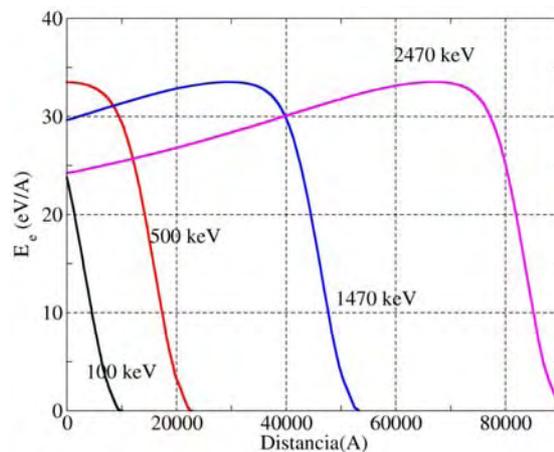
El proceso de propagación de  $He^{2+}$  con energía inicial 10 keV dura en promedio 1 ps. En la primera etapa del proceso, cuando la energía es todavía suficientemente alta, la trayectoria del ion es aproximadamente rectilínea, como se observa de la Figura 5.



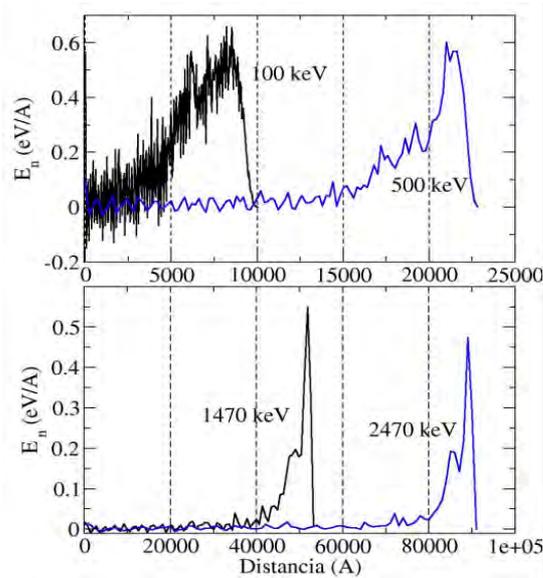
**Figura 5.** Proyección sobre el plano x-z de la trayectoria del  $He^{2+}$  con energía inicial de 10 keV en Al.

### Implantación con iones de diferente energía

Con la finalidad de estudiar los procesos del poder de frenado y alcance de los iones como función de su energía inicial se ha simulado la irradiación del Al monocristalino con iones  $He^{2+}$  cuyas energías varían de 100 keV hasta 2470 keV. La dirección del haz inicial coincide con la orientación [001].



**Figura 6.** Frenado electrónico como función de la distancia en la irradiación del Al monocristalino con iones  $He^{2+}$  con energías iniciales de 100, 500, 1470 y 2470 keV.



**Figura 7.** Frenado nuclear como función de la distancia en la irradiación del Al monocristalino con iones  $\text{He}^{2+}$  con energías iniciales de 100, 500, 1470 y 2470 keV.

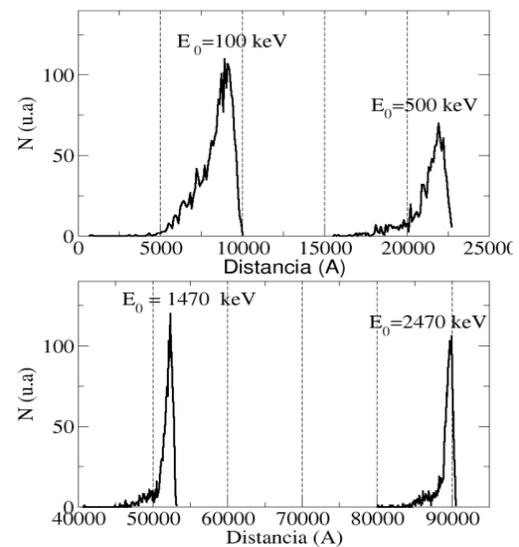
En la Figura 6 se muestra la variación del poder de frenado electrónico como función de la distancia. El frenado electrónico es debido a la interacción del ion de retroceso con el gas de electrones libres del metal. Se aprecia que para energías menores que 100 keV el poder de frenado electrónico disminuye desde el comienzo, mientras que para valores de energía mayor, primero hay un incremento hasta alcanzar un máximo a cierta distancia y luego disminuye. Por otra parte, la componente del frenado nuclear, como se aprecia en la Figura 7, durante gran parte del camino varía muy poco y solamente al final del proceso hay un incremento significativo. Los resultados del comportamiento de los poderes de frenado con la distancia obtenidos en el presente trabajo se encuentran en buena concordancia con las predicciones de la teoría [9]. En las primeras etapas del proceso predomina el frenado electrónico y al final la componente nuclear. El desplazamiento de los átomos del cristal de su posición de equilibrio y, en consecuencia, el daño que genera los iones de retroceso se concentran a cierta distancia de la superficie.

En la Figura 8 se presenta el alcance de los iones  $\text{He}^{2+}$  con diferentes energías implantados en el Al monocristalino. Los resultados muestran en primer lugar que el alcance es proporcional a la energía inicial del ion, por

lo menos en el intervalo de energías analizadas la dependencia es lineal. En segundo lugar, la distribución se hace cada vez menos ancha con el incremento de la energía; es decir, la gran mayoría de los iones finalizan su recorrido en cierto rango de distancia localizada. Por ejemplo, gran parte de los iones con energía de 1470 keV resultan implantados entre 5 y 5.25 mkm de la superficie.

### Implantación de iones en Al y Fe policristalinos

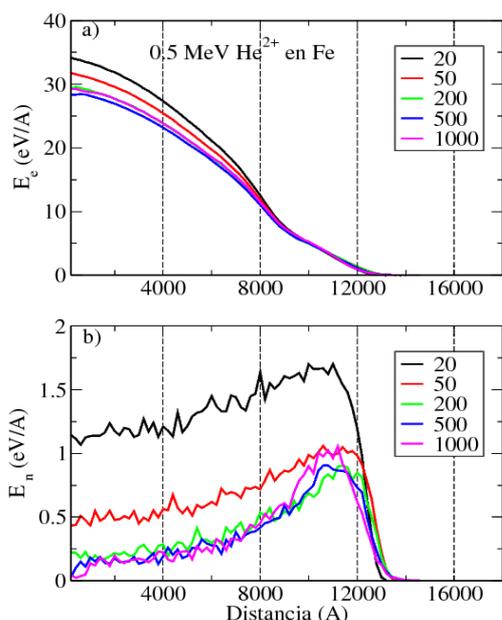
Para aclarar la influencia del tamaño de los granos del material blanco sobre el alcance de los iones de retroceso y la energía depositada, se ha simulado la irradiación de los materiales policristalinos con iones  $\text{He}^{2+}$  cuyas energías iniciales son iguales a 500 keV. El tamaño de grano de los cristalitas considerados fueron iguales a 20,50,100,500, 1000, 5000 y 10000 Å. La orientación de los granos es aleatoria.



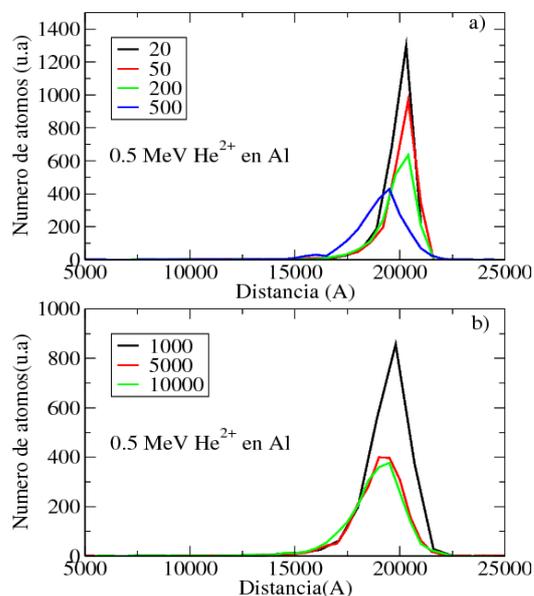
**Figura 8.** Alcance de los iones  $\text{He}^{2+}$  con distintas energías versus distancia en monocristal de Al. Número de eventos 1000.

La dependencia con la distancia del poder de frenado electrónico y nuclear del Fe con diferentes tamaños de los granos durante la implantación del  $\text{He}^{2+}$  se muestra en la Fig. 9. Se puede notar que con la disminución del tamaño de los granos la energía depositada tiende a aumentar, mas significativamente en las primeras etapas de la implantación. Y lo que es más importante la mayor variación se observa para los tamaños de grano menores que 50 nm. (500 Å). Similar comportamiento del poder de frenado del material se ha

observado también para el caso de Al policristalino.



**Figura 9.** Frenado electrónico a) y nuclear b) como función de la distancia en la irradiación del Fe policristalino. Las gráficas corresponden a tamaños de grano 20, 50, 200, 500 y 1000 Å.



**Figura 10.** Distribución del alcance de los iones  $\text{He}^{2+}$  en aluminio policristalino. Número de eventos 5000.

En la Figura 10 se muestra la distribución del alcance de los iones  $\text{He}^{2+}$  en aluminio con diferentes tamaños de grano. A diferencia de la energía depositada, el pico del alcance de los iones para tamaños de grano hasta 500 Å no varía significativamente (ver Fig. 10 a), mientras que el ancho de distribución tiende a aumentar con el incremento del tamaño de

grano. Para tamaños de grano por encima de 5000 Å prácticamente ya no se nota diferencia alguna en la forma de la distribución de los iones implantados. Esto se debe probablemente que para la energía del ion de retroceso considerada el tamaño del cristalito ya es del mismo orden que el alcance en monocristales.

#### 4. Conclusiones

Mediante la simulación con el método de dinámica molecular se ha estudiado los procesos de propagación de los iones  $\text{He}^{2+}$  en Al y Fe. Se ha establecido que en el aluminio la dirección de mayor alcance o canalización es [110], mientras que en el Fe esta dirección es el de menor alcance. El alcance de los iones es directamente proporcional a su energía en el intervalo de energías estudiada. No se ha observado una dependencia significativa del alcance de los iones con el tamaño de los granos de los metales estudiados.

#### 5. Bibliografía

- [1] Lindner JKN. Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B. 1994; 84:153.
- [2] Juslin N, Nordlund K, Wallenius J, Malerba L. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2007; 255(1):75-77.
- [3] Zeng F, Zong RL, Gu YL, Lv F, Pan F, Wang J, Yan WS, He B, Xie YN, Liu T. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2007; 260(2):547-552.
- [4] Trachenko K, Dove MT, Salje EKH, Todorov I, Smith W, Pruneda M, Artacho E. Molecular simulation. 2005; 31(N5):355.
- [5] Lee N, Xue G, Greene J. J. Appl. Phys. 1996; 80:769.
- [6] Hayashi N, *et al.* Phys. Rev. Lett. 1993; 70:45.
- [7] Jacobsen J, Cooper B, Sethna J. Phys. Rev. B. 1998; 58(23):15847.
- [8] Nordlund K, Keinonen J, Kuronen A. Physica Scripta. 1994; T54:34.
- [9] Nordlund K. Com. Mat. Sci. 1995; 3:448.
- [10] Ziegler JF, Biersack JP, Littmark U. The Stopping and Range of Ions in Matter. New York: Pergamon, New York; 1985.

## Síntesis sonoquímica de nanopartículas de CuO impregnadas en tejidos de algodón. Caracterización y actividad antimicrobiana

Kety León\*, Alcides López, Javier Gago, José Solís

Laboratorio de Materiales, División Operativa de Materiales, Instituto Peruano de Energía Nuclear

### Resumen

Aplicando ultrasonido a tejidos de algodón en una solución de sulfato de cobre, se obtuvo nanopartículas de óxido de cobre impregnadas en el tejido. Las caracterizaciones por difracción de electrones muestran que el material formado consiste de las fases  $\text{Cu}_{64}\text{O}$ ,  $\text{Cu}_4\text{O}$  y  $\text{CuO}$ , mientras que por difracción de rayos X se observa al  $\text{CuO}$ . La microscopía electrónica de transmisión presenta una naturaleza micro y nanoestructurada del óxido de cobre, variando desde nanoestructuras filiformes a nanopartículas esféricas, también se aprecia la formación de micropartículas porosas y crecimientos monocristalinos. Estos materiales al encontrarse adheridos a las fibras de algodón presentaron actividad antimicrobiana frente a las bacterias *S. aureus* en mayor grado y *E. coli* en menor grado.

**Palabras Claves:** Nanotecnología, impregnación, sonoquímica, óxido de cobre, actividad antimicrobiana

### Abstract

Ultrasound has been applied to cotton fibers with a solution of copper sulphate to obtain copper oxide nanoparticles impregnated in the fibers. The electron diffraction characterizations show that the formed material consists of phases of  $\text{Cu}_{64}\text{O}$ ,  $\text{Cu}_4\text{O}$  and  $\text{CuO}$ , by X ray diffraction the material is basically  $\text{CuO}$ . The transmission electron microscopy shows a micro and nanostructured copper oxide particles, changing from filiform nanostructures to ball nanoparticles, also it appreciates the formation of microparticles, porous and monocrystalline growths, having adhered to the cotton fibers, these materials presented antimicrobial activity against to the *S. aureus* bacteria in major grade than *E. coli*.

**Key Words:** Nanotechnology, impregnation, sonication, copper oxide, antimicrobial activity

### 1. Introducción

La nanotecnología es un campo interdisciplinario que está emergiendo y tiene aplicaciones en muchas áreas, como en la ciencia de los materiales, mecánica, electrónica, óptica, medicina, plásticos y en la industria textil. La producción de fibras funcionalizadas con partículas nanométricas es una área donde la nanotecnología tiene un gran impacto dentro de la industria textil [1,2,3,4].

Cuando las partículas tienen un tamaño nanométrico sus propiedades cambian drásticamente; son ampliamente conocidos los cambios que ocurren con la conductividad eléctrica, la dureza, el área superficial activa, la reactividad química y actividad biológica. El efecto bactericida de nanopartículas metálicas (Ag, Cu) y óxidos ( $\text{ZnO}$ ,  $\text{CuO}$ ) se deben a su tamaño y a que tiene una razón superficie-volumen mayor que las partículas micrométricas. Estas características le

permiten interactuar con las membranas de las bacterias, aparte del efecto debido al desprendimiento de iones metálicos[2].

Esta característica ha hecho posible la producción de una nueva generación de textiles antimicrobianos, usando procesos innovativos en la fijación de nanopartículas en las fibras. Estas nanopartículas alteran la superficie de la fibra y le imparten la función antimicrobiana. Las telas fabricadas con estas fibras funcionalizadas pueden usarse para el tratamiento de heridas y aplicaciones médicas en hospitales y otros lugares donde la presencia de bacterias es un peligro [3,4,5].

### 2. Parte Experimental

#### 2.1 Impregnación con nanopartículas de $\text{CuO}$ sobre tejido de algodón

Se utilizó gasa de algodón de 1.4 g y 10x10 cm el cual se colocó en un vaso y se le añadió

\* Correspondencia autor: [indel@ipen.gob.pe](mailto:indel@ipen.gob.pe)

una solución de sulfato de cobre 0.005M, preparada en otra solución de etanol:agua (1:4), después del cual se le aplicó ultrasonido por 1 h en una cubeta ultrasónica marca Branson Modelo MT 1510 (42 kHz, 75W) adquiriendo un color verde azulado, a los 5 minutos de la reacción se añadió una solución de amonio produciéndose un oscurecimiento y enturbiándose luego con un polvo marrón, concluida la acción ultrasónica se dejó reposar, después de 1h se reinició nuevamente la acción ultrasónica por 1 h. La solución y el tejido tomaron un color marrón oscuro. Finalmente, el tejido fue lavado vigorosamente para eliminar trazas de amonio y enjuagado con alcohol, y se dejó secar a temperatura ambiente.

## 2.2 Caracterización

Las nanopartículas fueron caracterizadas utilizando un Microscopio Electrónico de Transmisión (MET) Phillips EM 400 operando a 80 kV. Un microscopio de Fuerza Atómica (AFM) Nanosurf EASY SCAN 2 AFM System, la difracción de rayos X (DRX) fue obtenida en un equipo de Difracción de Rayos X (Rigaku, modelo Miniflex, utilizando el intervalo  $10^\circ < 2\theta < 70^\circ$  con pasos  $2\theta$  de  $0,02^\circ$ ).

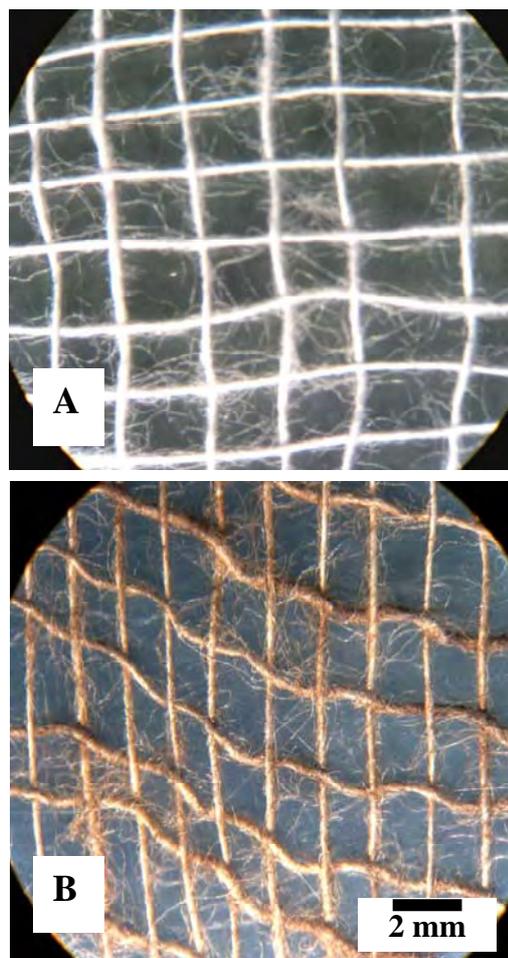
## 2.3 Evaluación de la actividad antimicrobiana

Para la determinación de la actividad antimicrobiana en las gasas impregnadas con óxido de cobre se empleó el método de difusión en agar de Kirby Bauer, método que se fundamenta en la inhibición del crecimiento bacteriano mediante la difusión del principio activo en un medio de cultivo sólido, el mismo que se evidencia con la formación de zonas claras o halos de inhibición.

El inóculo se preparó a una turbidez equivalente a 0,5 de la escala de MacFarland y fue aplicado sobre la placa con la ayuda de una torunda estéril, cubriendo totalmente la superficie de la placa sin dejar zonas libres. Para aplicar el método Kirby Bauer o disco difusión se preparó un inóculo de  $1 \times 10^8$  UFC/mL, se sembró el inóculo con la ayuda de una torunda sobre placas de agar Muller Hinton previamente incubadas.

Se cortaron pedazos de gasa de  $1 \text{ cm}^2$  y se sembraron sobre las placas de agar Muller

Hinton, finalmente se incubaron a  $37^\circ\text{C}$  entre 18 y 24 h.



**Figura 1.** Micrografías de fibras de gasa de algodón A) Nueva sin impregnación y B) Impregnada con nanopartículas de óxido de cobre.

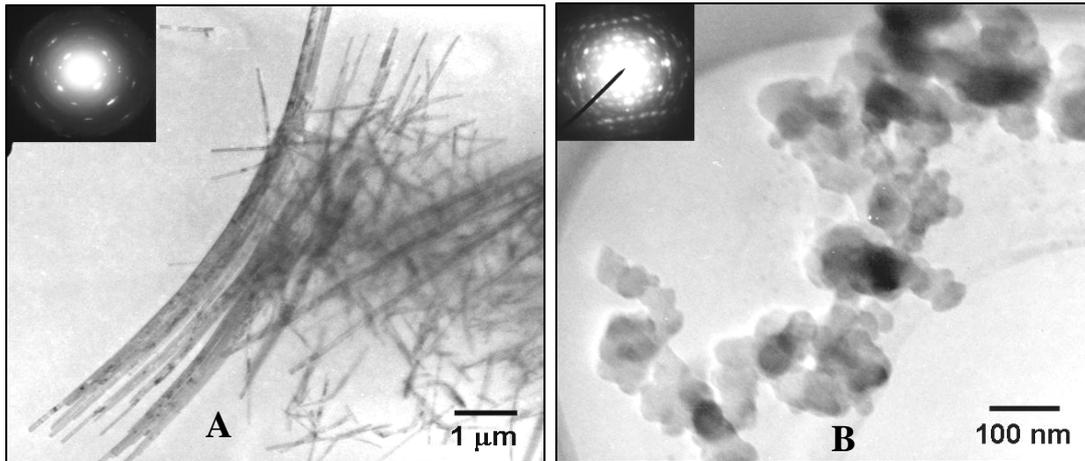
## 3. Resultados

### 3.1 Análisis por microscopía de luz, electrónica de transmisión, de fuerza atómica, difracción de electrones y de rayos X

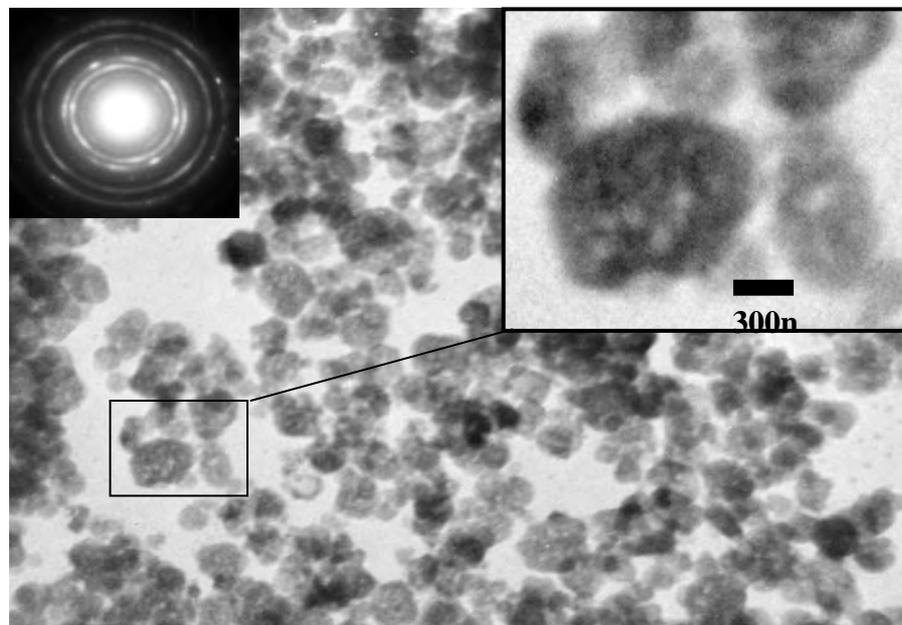
Al microscopio de luz se ha podido observar aglomeramiento de partículas color marrón sobre y entre las fibras de los hilos, que le da un aspecto del mismo color a la gasa entera tal como se puede apreciar en la Figura 1. En el análisis por MET se ha observado las partículas suspendidas en el líquido y aquellas desprendidas de las fibras luego de un enérgico lavado. Las partículas suspendidas se han mostrado en forma de estructuras alargadas y ligeramente curvadas de algunas décimas de micra de ancho y entre  $0.5$  a  $15 \mu\text{m}$  de longitud (Figura 2 a), las fases cristalinas concuerdan con las del  $\text{Cu}_6\text{O}$ ,

$\text{Cu}_4\text{O}$  y  $\text{CuO}$ . En la tabla 1 se muestran las distancias interplanares obtenidos experimentalmente por medio de la difracción de electrones así como las distancias interplanares y las tarjetas de referencia. Adicionalmente, esta suspensión estuvo poblada de partículas nanoestructuradas con diámetros promedios menores a 100 nm y cuya fase más abundante coincidía con las del  $\text{Cu}_4\text{O}_3$  (Figura 2b).

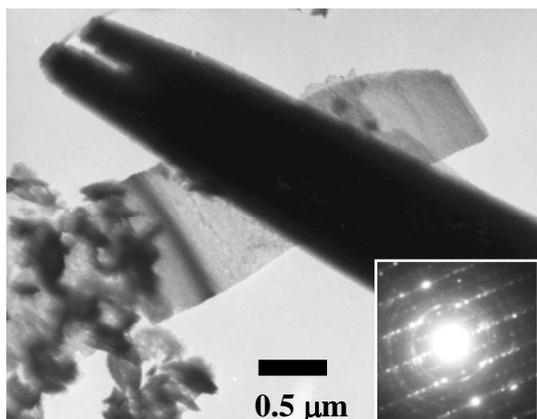
Las partículas desprendidas de las fibras muestran partículas esferoidales porosas con un diámetro promedio de 0.5 micras y poros de 100 nm aproximadamente con fases cristalinas correspondientes al  $\text{Cu}_{64}\text{O}$ ,  $\text{Cu}_4\text{O}$  y  $\text{CuO}$  (Figura 3), otras partículas identificadas se muestran como monocristales (Figura 4) de tamaño micrométrico y fase coincidente con la del  $\text{Cu}_{64}\text{O}$ .



**Figura 2.** Micrografías MET y difracción de electrones de partículas no adheridas a las fibras A) Nanovarillas, B) Nanopartículas.



**Figura 3.** Micrografía MET de partículas desprendidas de las fibras de algodón y patrón de difracción de electrones.



**Figura 4.** Micrografías MET y difracción de electrones de monocristales crecidos en las fibras de algodón.

En el análisis por AFM se aprecia la naturaleza microestructurada del material desprendido de las fibras de algodón (Figura 5).

El análisis por difracción de rayos X muestra que las nanopartículas impregnadas en el tejido de algodón corresponden al óxido de cobre CuO (Figura 6).

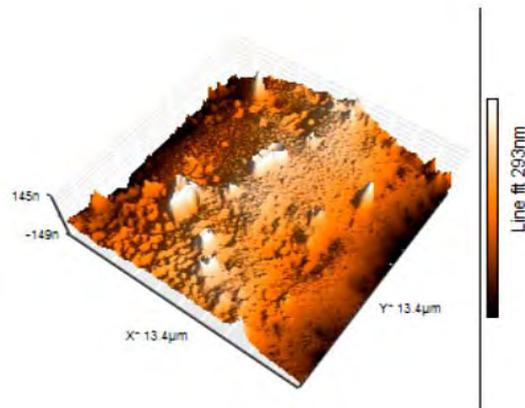
**Tabla 1.** Distancias interplanares experimentales y de referencia obtenidas por difracción de electrones.

$d_{exp}$	$d_{ref}$	Fase y referencia
4.18	4.17	
4.03	4.05	Cu <sub>6</sub> O
3.79	3.76	00-077-1899
3.10	3.12	
2.65	2.74	
3.12	3.17	Cu <sub>4</sub> O
2.88	2.91	01-083-1665
2.39	2.46	
3.67	3.62	CuO
3.38	3.44	
2.70	2.74	01-089-5898
2.49	2.52	00-044-0706
2.31	2.31	
3.17	3.12	Cu <sub>4</sub> O <sub>3</sub>
2.88	2.91	083-1665
2.46	2.48	

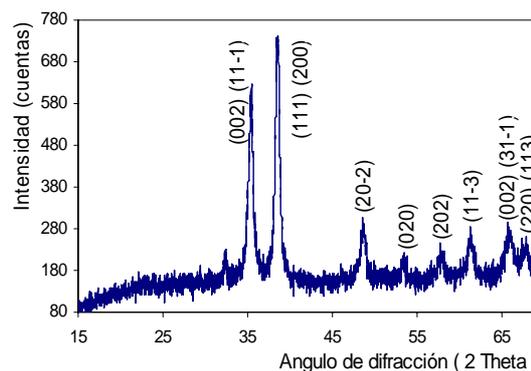
### 3.2 Actividad antimicrobiana

Fragmentos de tejidos de algodón impregnados con nanopartículas de óxido de cobre, fueron colocados sobre placas conteniendo cultivo de bacterias, después de la incubación se observaron halos de inhibición que determinan la actividad antimicrobiana. Para *S. aureus* se midió un halo de inhibición de 14 mm y uno más reducido para *E. coli*, mostrando con ello

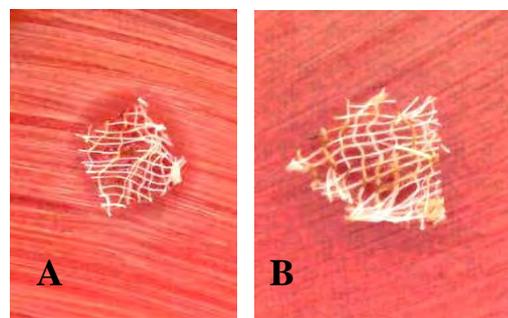
que la bacteria *S. aureus* es más susceptible a la presencia de las nanopartículas de CuO que *E. coli*, (Figuras 7A y 7B). Al enfrentar el material tratado con la cepa de *Pseudomonas aeruginosa*, esta no mostró formación de halo de inhibición alguno.



**Figura 5.** Micrografía AFM mostrando partículas de material microestructurado de CuO.



**Figura 6.** Patrón de difracción de rayos X correspondientes al CuO preparado por reacción ultrasónica.



**Figura 7.** Gasa impregnada con nanopartículas de óxido de cobre frente a *S. aureus* (A) y frente a *E. coli* (B).

## 4. Conclusiones

Las caracterizaciones por difracción de electrones muestran que el material formado

consiste de las fases  $\text{Cu}_6\text{O}$ ,  $\text{Cu}_4\text{O}$  y  $\text{CuO}$ , por difracción de rayos X se muestran que el material es básicamente el  $\text{CuO}$ . La microscopia electrónica de transmisión presenta una naturaleza micro y nanoestructurada de la muestra de óxido de cobre, variando desde nanoestructuras filiformes a nanopartículas esféricas, también se aprecia la formación de micropartículas, porosas y crecimientos monocristalinos. Estos materiales al encontrarse adheridos a las fibras de algodón presentaron actividad antimicrobiana frente a las bacterias *S. aureus* en mayor grado y *E. coli* en menor grado.

## 5. Referencias

- [1] Dastjerdi R, Montazer M. A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 79:5-18.
- [2] Curtis White W. Antimicrobial performance of medical textiles. [serie en Internet] 2002. ÆGIS Environments, Midland, MI. Disponible en: [http://www.germguard.ca/resourcesFiles/AntiAntimicro\\_Performance\\_of\\_Medical\\_Textiles.pdf](http://www.germguard.ca/resourcesFiles/AntiAntimicro_Performance_of_Medical_Textiles.pdf).
- [3] Gadi Borkow, Jeffrey Gabbay. Endowing textiles with permanent potent biocidal properties by impregnating them with copper oxide. [serie en Internet]. Disponible en: <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/24/2362/endowing-textiles-with-permanent1.asp>.
- [4] Ojas Mahapatra, *et al.* Ultrafine dispersed  $\text{CuO}$  nanoparticles and their antibacterial activity. *Journal of Experimental Nanoscience*. 2008; 3(3):185-193.
- [5] Nicola Cioffi, *et al.* Copper nanoparticle/polymer composites with antifungal and bacteriostatic properties. *Chem Mater*. 2005; 17:5255-62.

## Efecto de los rayos gamma en la fabricación de sensores de Gas Natural (GN) y Gas Licuado de Petróleo (GLP) con ZnO nanoestructurado

Alcides López<sup>1,2,\*</sup>, Robert Paria<sup>1</sup>, José Solís<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, Rímac, Lima, Perú

<sup>2</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima

### Resumen

Se presenta el efecto de la radiación gamma de suspensiones coloidales de ZnO, preparados a partir de  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$  y alcohol etílico, además de una variante a partir de  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , NaHO y alcohol propílico, estos coloides fueron irradiados con rayos gamma a 30, 50, 75 y 100 kGy y luego caracterizados por Microscopía Electrónica de Transmisión y Espectroscopía UV-Vis. Se fabricaron también películas de ZnO por spray-pirólisis a partir de los coloides irradiados, los que se caracterizaron por difracción de rayos X. Para evaluar las propiedades eléctricas se fabricaron películas de ZnO sobre substratos de alúmina impreso con electrodos de oro, sistema que sirvió como sensor de gas. El estudio de la dependencia de la conductividad con la temperatura en presencia de aire y un gas, revela que la conductividad eléctrica de los sensores varía en función de su fase cristalina, temperatura de operación y la dosis a la cual han sido irradiados los coloides. Cuando los sensores fueron expuestos a Gas Natural y Gas Licuado de Petróleo se obtuvieron patrones de respuesta típicas de sensores semiconductores tipo n y tipo p.

**Palabras clave:** Oxido de zinc, Coloide, Nanopartícula, Radiación gamma, Sensor de gas

### Abstract

We present the gamma radiation effect on a ZnO colloidal suspension prepared from  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$  and ethyl alcohol, and in a second preparation from  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , NaHO and propyl alcohol. These colloids were irradiated with gamma rays at 30, 50, 75 and 100 kGy. These irradiated colloids were characterized by Transmission Electron Microscopy and UV-Vis spectroscopy. Also were prepared ZnO films by spray-pyrolysis from irradiated colloids, these films were characterized by X-ray diffraction. To evaluate the electrical properties of ZnO films, these films were prepared on alumina substrates with gold electrodes printed and the system was used as gas sensor. The study of the dependence of the conductivity with the temperature of the air and a gas, shows that the electrical conductivity of the sensors varies depending on the crystalline phase, operating temperature and gamma radiation dose. Typical response patterns of n-type and p-type semiconductor sensors have been found when the sensors were exposed to Natural Gas and Liquefied Oil Gas.

**Keywords:** Zinc oxide, Colloid, Nanoparticle, Gamma radiation, Gas sensor

### 1. Introducción

El creciente uso de combustibles baratos como el Gas Licuado de Petróleo (GLP) y el Gas Natural (GN) requieren de una detección rápida y selectiva de fugas para prevenir explosiones accidentales, esta detección puede basarse en el cambio de alguna propiedad física o química del material sensible ante la presencia de dichos gases. El término “sensor de gas de estado sólido” incluye a los materiales catalíticos, sólidos

electrolíticos, metálicos, dieléctricos, semiconductores clásicos y también a diferentes tipos de membranas orgánicas [1]. Los sensores semiconductores de gas [1-4] se basan en la reacción reversible entre el gas de la atmósfera y el semiconductor, cuyo efecto es el cambio de conductividad. El  $\text{SnO}_2$  es el material típicamente utilizado en este tipo de sensores, sin embargo también hay otros

\* Correspondencia autor: alopez@ipen.gob.pe

semiconductores como el  $\text{WO}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ , etc.

Las múltiples aplicaciones hacen del  $\text{ZnO}$  un material tecnológicamente importante; es usado en dispositivos de ondas acústicas superficiales, sensores de gas, conductores transparentes, absorbentes de la radiación UV en cremas bronceadoras y recientemente en celdas solares sensibilizadas con colorantes [5-9]. Una variedad de técnicas han sido usadas para la fabricación de películas delgadas de  $\text{ZnO}$ , tales como “sputtering” [10], spray-pirólisis [11], ablación láser [12], sol-gel [13], etc. Las propiedades del  $\text{ZnO}$  dependen mucho de la técnica y parámetros de fabricación. Para preparar un coloide de óxido de zinc se puede variar parámetros como: pH de la reacción, estabilidad de los reactivos, concentración, temperatura, etc. El proceso de preparación de coloides de partículas nanocrystalinas de  $\text{ZnO}$  se conoce muy bien y existe mucho trabajo sobre este tema; sin embargo, hay escasa información sobre lo que ocurre cuando se irradia estos coloides con radiación gamma. Este trabajo se centró en el estudio de la influencia de la radiación gamma sobre las propiedades del  $\text{ZnO}$ . Para caracterizar la morfología y tamaño de las nanopartículas de  $\text{ZnO}$  en el coloide se hizo uso de la Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) y para medir la absorbancia de los coloides de  $\text{ZnO}$  se hizo uso de un espectrómetro UV-Vis. Se fabricaron películas de  $\text{ZnO}$  por spray-pirólisis a partir de los coloides sin irradiar e irradiados, las que fueron caracterizadas por TEM, UV-Vis. y difracción de rayos X. Finalmente, las películas de  $\text{ZnO}$  se probaron como sensores de GN y GLP.

## 2. Experimental

A una temperatura de  $0^\circ\text{C}$  se preparó el sol en alcohol propílico añadiendo 50 ml de  $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$  14M a 50 ml de  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.1M, para el rociado pirolítico la temperatura estuvo entre 150 y  $200^\circ\text{C}$ , la presión del aire del nebulizador fue de 20 PSI. Luego se procedió a sinterizar el recubrimiento delgado a  $600^\circ\text{C}$  durante 1 h, los sustratos utilizados fueron vidrio, alúmina y alúmina con electrodos de Au, se utilizó un irradiador de investigación Gammacell 220 Excel de MDS Nordion con fuente de  $^{60}\text{Co}$  y fotones de 1.17 MeV, las dosis empleadas

fueron 30, 50, 75 y 100 kGy. Las caracterizaciones se hicieron por Microscopía Electrónica de transmisión (TEM) usando un STEM Philips 400, un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) Hitachi S-500, un difractómetro de rayos X (XRD) Rigaku MiniFlex II en configuración Bragg-Brentano 2 Theta con fuente de  $\text{CuK}\alpha$  (1.5405 Å) y base de datos del International Center Diffraction Data (ICDD).

Para los estudios como sensor de gas se diseñó y construyó un sistema automatizado usando una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments modelo PCI-6023E y el programa Labview.

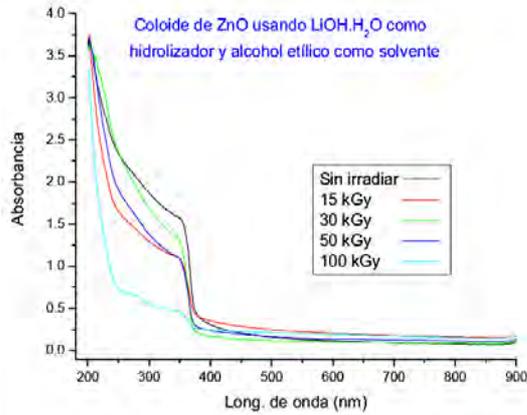
El sistema consta de una cámara de pruebas (de 1.5 L) de acero inoxidable donde se pueden evaluar hasta 4 sensores simultáneamente, allí los sensores de gas se expusieron a GLP o GN a una concentración similar a una situación de riesgo en forma controlada usado un mezclador de gases marca Signal, serie 850 de dos canales de entrada, un canal para aire comprimido y otro canal para el gas a evaluar (GLP o GN).

## 3. Resultados y discusiones

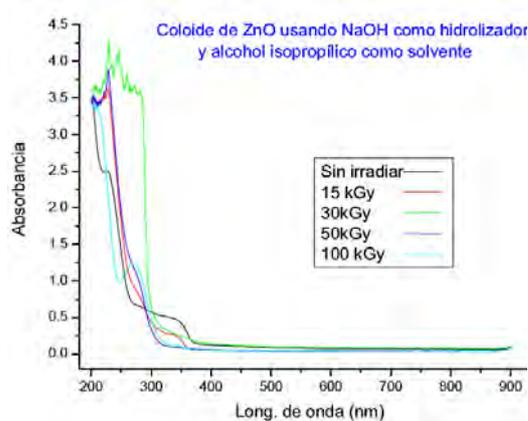
El coloide de  $\text{ZnO}$  fue sometido con radiación gamma con dosis de 15, 30, 50 y 100kGy. Con un espectrómetro UV-Vis se midió la absorbancia de los coloides de  $\text{ZnO}$ . En la Figura 1, se presenta la absorbancia del primer coloide y se observa que los picos de absorción están a una misma longitud de onda y las alturas de estos picos disminuyen a medida que aumenta la dosis de radiación, debido a que la concentración del  $\text{ZnO}$  disminuye; en la Figura 2, se presenta la absorbancia del segundo coloide y se observa el mismo fenómeno pero con menor altura para los picos, en el mismo gráfico, a 100kGy aparece un pico de absorción en 270nm evidenciando la aparición de nuevas especies cuando estas son influenciadas por la radiación gamma.

Se ha obtenido películas delgadas de  $\text{ZnO}$  sobre sustratos de alúmina. En la Figura 3, se muestran los difractogramas de rayos X de las películas de  $\text{ZnO}$  a diferentes dosis. Los picos que están marcados con el signo más de color azul, pertenecen a los picos característicos de la Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y los picos marcados con el signo más de color

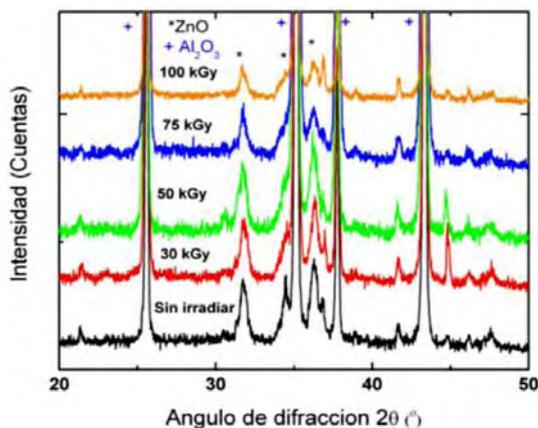
negro, pertenecen al ZnO. Además se puede observar que los picos se ensanchan demostrando que los cristales disminuyen su tamaño hasta el orden nanométrico. Los cambios de estructura a medida que se incrementa la dosis no son resueltos.



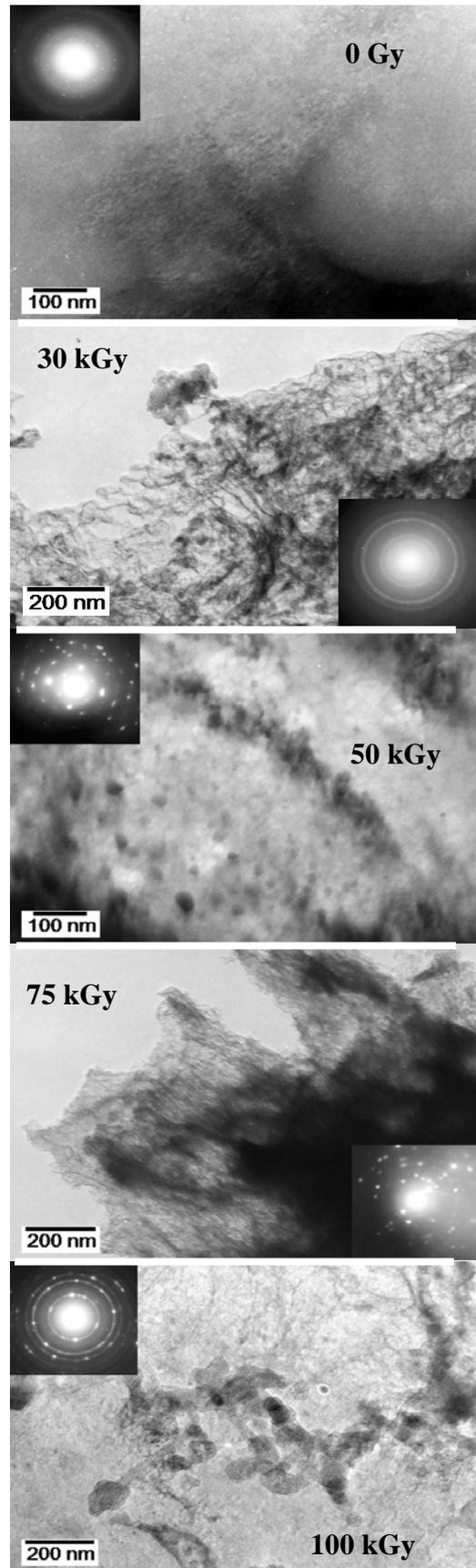
**Figura 1.** Absorbancia del Coloide de ZnO preparado con LiOH.H<sub>2</sub>O.



**Figura 2.** Absorbancia del Coloide de ZnO. Preparado con NaOH.

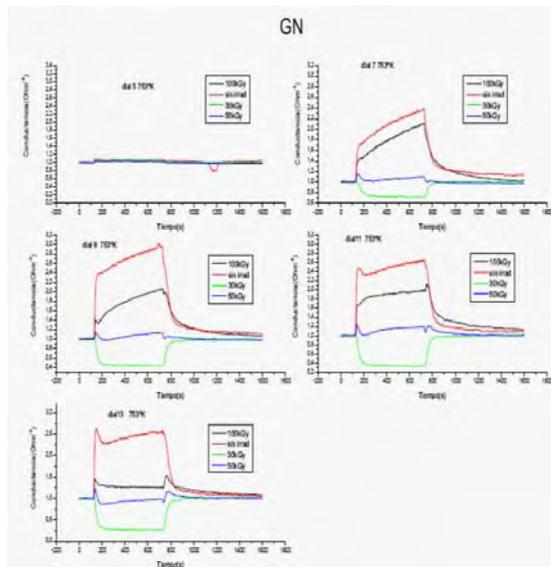


**Figura 3.** Patrones de Difracción de Rayos-X de las películas de ZnO aplicando rayos gamma.

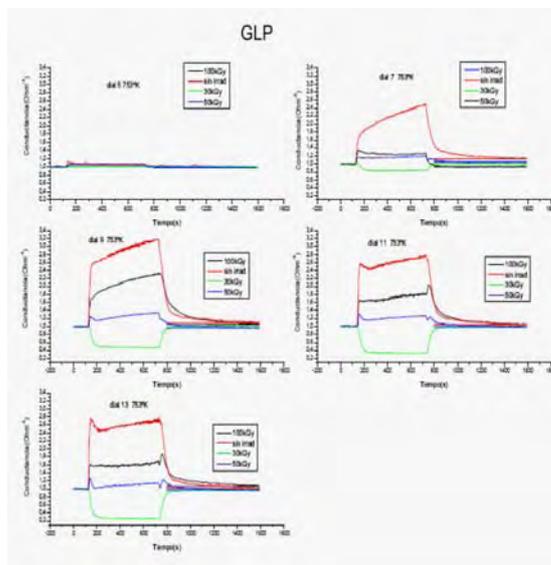


**Figura 4.** Micrografías TEM de las nanopartículas de ZnO sin irradiar e irradiados a 30, 50, 75 y 100 kGy, respectivamente.

En la Figura 4, se muestran las micrografías TEM y sus respectivos patrones de difracción de electrones de los coloides de ZnO irradiados y sin irradiar. Estas micrografías muestran que casi todas las muestras son policristalinas con tamaño de grano del orden nanométrico. Casi todas las muestras tienen partículas de forma esférica, salvo la muestra obtenida a partir de un coloide irradiado a 75kGy que tiene forma de rods.



**Figura 5.** Conductancia de las películas de ZnO en función de la concentración de GN.



**Figura 6.** Conductancia de las películas de ZnO en función de la concentración del GLP.

En las Figuras 5 y 6 se muestran la variación de la conductancia de las películas fabricadas a partir de los coloides con y sin irradiación a medida que aumenta la concentración de GN y GLP, respectivamente. La tendencia de

todas las películas es hacia un comportamiento típico de los semiconductores tipo n; sin embargo, la película de 30 kGy se comporta como un semiconductor tipo p. La película de ZnO producido a partir de un coloide sin irradiar tiene mayor sensibilidad al Gas Natural (GN) y Gas Licuado de Petróleo (GLP). En las dos figuras se observa que todas las películas de ZnO son más sensibles al GLP.

#### 4. Conclusiones

Se ha obtenido satisfactoriamente coloides de ZnO mediante la aplicación de diferentes dosis de radiación gamma, obteniéndose películas delgadas de ZnO usando la técnica de spray-pirólisis.

La conductancia de las películas delgadas de ZnO fue óptima a una temperatura de trabajo de 753K y fueron mejorando al incrementarse la concentración del GN y GLP.

Uno de los hallazgos importantes ocurrió con las películas de ZnO producidas a partir del sol irradiado a 30 kGy, se encontró que su comportamiento correspondía al de un semiconductor tipo p, mientras que en los casos anteriores correspondían a un semiconductor tipo n, resultado que a la fecha no ha sido reportado en publicaciones internacionales o nacionales.

#### 5. Agradecimientos

Al CONCYTEC por subvencionar el proyecto PROCYT 229-2008, a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo. Al Laboratorio de Películas Delgadas de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería, por facilitarnos sus instalaciones para la realización experimental de este trabajo.

#### 6. Referencias

- [1]. Madou MJ, Morrison R. Chemical sensing with solid states devices. San Diego: Academic Press, Inc.; 1989.
- [2]. Kocache R. Gas Sensor. Sensor Review. 1994; 14(1):8-12.
- [3]. Sbervegliere G, editor. Gas sensor. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher; 1992.
- [4]. Morrison SR. Semiconductor gas sensor. Sensor and Actuators. 1982; 2:329-341.

- [5]. Ambia MG, Islam MN, Obaidul Hakim M. *J. Mater. Sci.* 1992; 27:5169.
- [6]. Roth AP, Williams DF. *J. Appl. Phys.* 1981; 52:6685.
- [7]. Major S, Kumar S, Bhatnagar M, Chopra KL. *Appl. Phys. Lett.* 1986; 49:394.
- [8]. Jin ZC, Hamberg I, Granqvist CG. *J. Appl. Phys.* 1988; 64:5117.
- [9]. Boyle DS, Govender K, O'Brien P. *Thin Solid Films.* 2003; 431–432:483.
- [10]. Sernelius BE, Berggren KF, Jin ZC, Hamberg I, Granqvist CG. *Phys. Rev. B.* 1988; 37:10244.
- [11]. Studenikin SA, Golego N, Cocivera M. *J. Appl. Phys.* 1998; 84:2287.
- [12]. Wu XL, Siu GG, Fu CL, Ong HC. *Appl. Phys. Lett.* 2001; 78:2285.
- [13]. Fujihara S, Suzuki A, Kimura T. *J. Appl. Phys.* 2003; 94:2411.

## Atomic and electronic structure transformations of silver nanoparticles under a rapid cooling conditions<sup>1</sup>

Iván Lobato<sup>1</sup>, Justo Rojas<sup>1,2,\*</sup>, Carlos Landauro<sup>2</sup>, Juan Torres<sup>2</sup>

<sup>1</sup> División de Materiales, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá N° 1470, Lima 41, Peru

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela s/n, Lima 14, Perú

### Resumen

La evolución estructural y dinámica de nanogotas de plata Ag<sub>2869</sub> (4.4 nm de diámetro) en condiciones de enfriamiento rápido se ha estudiado mediante simulaciones con dinámica molecular y cálculos de la densidad electrónica de estados. La interacción de átomos de plata se modeliza mediante el potencial semiempírico tight-binding propuesto por Cleri y Rosato. El cálculo de las funciones de correlación par y la técnica de análisis de pares se utilizan para revelar la transición estructural en el proceso de solidificación. Se muestra que las nanopartículas de Ag evolucionan en diferentes nanoestructuras bajo diferentes procesos de enfriamiento. A una tasa de enfriamiento de  $1.5625 \times 10^{13} \text{ K s}^{-1}$  las nanopartículas preservan una estructura cercana a la amorfa que presenta gran cantidad de pares 1551 y 1541 los cuales corresponden a la simetría icosaédrica. A una velocidad de enfriamiento más baja ( $1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$ ), las nanopartículas se transforman en una estructura cristalina similar que consiste principalmente de pares 1421 y 1422 que corresponden a las estructuras cúbicas centrada en las caras y hexagonal compacta, respectivamente. Las variaciones de la densidad electrónica de estados para las nanopartículas enfriadas mediante diferentes procesos son pequeñas, pero en correspondencia con los cambios estructurales.

### Abstract

The structural evolution and dynamics of silver nanodrops Ag<sub>2869</sub> (4.4 nm in diameter) under rapid cooling conditions have been studied by means of molecular dynamics simulations and electronic density of state calculations. The interaction of silver atoms is modelled by a tight-binding semiempirical interatomic potential proposed by Cleri and Rosato. The pair correlation functions and the pair analysis technique are used to reveal the structural transition in the process of solidification. It is shown that Ag nanoparticles evolve into different nanostructures under different cooling processes. At a cooling rate of  $1.5625 \times 10^{13} \text{ K s}^{-1}$  the nanoparticles preserve an amorphous-like structure containing a large amount of 1551 and 1541 pairs which correspond to icosahedral symmetry. For a lower cooling rate ( $1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$ ), the nanoparticles transform into a crystal-like structure consisting mainly of 1421 and 1422 pairs which correspond to the face centred cubic and hexagonal close packed structures, respectively. The variations of the electronic density of states for the differently cooled nanoparticles are small, but in correspondence with the structural changes.

### 1. Introducción

The research in the field of nanoparticles is the basis for the development of nanotechnology [1,2]. This is mainly due to the possibility of modifying the physical properties of these systems through the control of the system size. Silver nanoparticles are particularly interesting because they have a number of exciting potential applications in various fields

including electronics and biology [3]. It is also known that the structure of a material determines its properties. For instance, in bulk face centred cubic materials the formation of other structures is suppressed kinetically, whereas nanoparticles of the same materials exhibit different structural modifications such as icosahedral, decahedral and amorphous with a great variety of physical and chemical properties [2, 4, 5]. Thus, in order to understand the structure of metal nanoparticles, obtained from the liquid

<sup>1</sup> Publicado en J. Phys.: Condens Matter 21(2009) 055301

\* Correspondencia autor: jrojas@ipen.gob.pe

phase, it is important to investigate their structural evolution during solidification under different conditions. Molecular dynamics (MD) simulations have proved to be among the most effective methods in the investigation (at the atomic level) of the properties of nanoparticles, which is difficult to carry out experimentally. In fact, the structural evolution during cooling of metallic nanoparticles was extensively studied employing MD [6-11]. For the case of silver nanoparticles one can find some works concerning, for instance, investigations of the most stable structures and the melting process of small silver clusters [12], as well as the superheating of Ag nanowires [5]. The freezing of silver clusters and nanowires has also been studied recently [13]. In such work the authors conclude that the final structure of Ag clusters of  $\sim 2.3$  nm is a fcc polyhedron despite the different cooling rates employed. In contrast, the study of the cooling rate dependence of solidification microstructures of silver by Tian *et al.* [14] indicates that the cooling rate has a crucial effect on the silver structure of the solid state. For this case, they find a critical cooling rate for crystal forming of  $\sim 1.0 \times 10^{13}$  K s $^{-1}$ . Baletto *et al.* [15] analysed the equilibrium structure and melting of some magic number Ag nanoparticles, concluding that for relatively large clusters the fcc polyhedron is the most stable. However, according to experimental results of Reinhard *et al.* [16], both icosahedral and fcc structures are observed in large (up to 10 nm in diameter) free Ag clusters produced with an inert-gas-aggregation source. Hence, details of thermal stability, melting and freezing temperature for nanosized nonequilibrium systems still remain unclear.

In this work, we investigate the structural transitions of silver nanoparticles during fast cooling. The structural changes have been simulated employing a tight-binding many-body potential. Furthermore, the possible changes of the electronic properties of silver nanoparticles at different temperatures were analysed by calculating the electronic density of states (DOS).

The paper is organized as follows. Section 2 is devoted to presenting the details of the MD simulations, the structural analysis, and the Hamiltonian model for the calculation of the

DOS. The results and discussion are presented in section 3. Some concluding remarks are provided in section 4.

## 2. Model and method

### 2.1 Potential energy function

The Ag nanoparticles are simulated by MD methods employing the many-body potentials developed by Rosato [17] on the basis of the second-moment approximation to the tight-binding model (SMA-TB). In this framework, the band energy of an atom  $i$  in a given position is proportional to the square root of the second moment of the local density of states. The energy of this atom is then written as a sum of two terms:

$$E_{tot} = \sum_i (E_i^{band} + E_i^{rep}) \quad (1)$$

where

$$E_i^{band} = -\left\{ \sum_{j: r_{ij} \leq r_c} \xi^2 \exp[-2q(\frac{r_{ij}}{r_0} - 1)] \right\}^{1/2}, \quad (2)$$

with  $\xi$  an effective hopping integral,  $r_{ij}$ , the distance between the atoms  $i$  and  $j$ ,  $r_c$  the cut-off radius for the interaction,  $r_0$  the first-neighbour distance, and  $q$  the distance dependence of the hopping integral. The second term in equation (1) is the repulsive energy of Born–Mayer type:

$$E_i^{rep} = \sum_{j: r_{ij} \leq r_c} A \exp[-p(\frac{r_{ij}}{r_0} - 1)], \quad (3)$$

The model parameters ( $\xi$ ,  $A$ ,  $p$ ,  $q$ ) are fitted to the bulk properties of the metal. The cut-off distance of the atomic interaction is set between the second- and third-neighbour distances. The parameters used in the simulation are taken from [17]; i.e.  $\xi = 1.178$ ,  $A = 0.1028$ ,  $p = 10.928$ ,  $q = 3.139$ .

### 2.2 Simulation process

The MD simulations of a silver nanoparticle are carried out for a cubic box without periodic boundary conditions, so that the nanoparticle surface is free. The equations of motion are integrated over time using a velocity Verlet algorithm. Energy conservation with an error less than  $1 \times 10^{-3}$  % was achieved with a time step of 6.4 fs. The almost spherical nanoparticle was prepared by cutting a spherical region of a desired radius from a big face centred cubic crystal. We have considered silver

nanoparticles of different sizes ranging from 147 atoms up to 2869 atoms, but the results presented here are for systems of 2869 atoms,  $\text{Ag}_{2869}$ , (in some cases we also present results for nanoparticles of 147 atoms,  $\text{Ag}_{147}$ ). It is worth mentioning that 2869 (and 147) belong to the set of magic numbers for icosahedral symmetries [2].

In order to obtain an equilibrium liquid-like state for the nanoparticle, we start the simulation at 1500 K which is a temperature higher than the equilibrium melting temperature of the  $\text{Ag}_{2869}$  nanoparticle ( $T_{\text{melt}} = 975$  K). The system is kept at this temperature for 105 time steps (640 ps). Six different quenching processes are then carried out. The overall cooling rate was controlled by changing the number of MD steps in each run. As our first cooling process we chose a slow one in which the system is cooled from a liquid state at 1500 K to a temperature of 300 K, employing  $1.2 \times 10^5$  MD steps, which corresponds to a cooling rate of  $1.5625 \times 10^{12}$   $\text{K s}^{-1}$  (the k 1 process). In the last one, a fast cooling process, we employ  $1.2 \times 10^4$  MD steps, which corresponds to a cooling rate of  $1.5625 \times 10^{13}$   $\text{K s}^{-1}$  (the k 2 process). It is worth mentioning that recently Chen et al [10] employed the same cooling rates (k 1 and k 2) to study the structure and dynamics of a gold nanoparticle of similar size (2112 atoms). Thus, we consider these two cooling rates as our extreme cases so that we can compare the results for the two nanoparticles. The other four cooling rates k were chosen such that  $k_1 < k < k_2$ . On cooling, the temperature was decreased to room temperature (300 K) in steps of  $T = 10$  K. The internal energy and structural configurations are recorded during the simulation.

### 2.3 Structural analysis methods

**The pair correlation function.** The pair correlation function (PCF)  $g(r)$  has been widely used to describe the atomic structure in amorphous, liquid and crystalline states. This quantity is given by [18].

$$g(r) = \frac{\langle n_i(r, r + \Delta r) \rangle}{\rho 4\pi r^2 \Delta r}, \quad (4)$$

where  $\rho$  is the atomic density ( $N/V$ ), and  $n_i(r, r + \Delta r)$  is the average number of atoms within a spherical shell surrounded by  $r$  and  $r + \Delta r$  around an arbitrary atom.

+  $r$  around an arbitrary atom.

**Pair analysis technique.** The common neighbours analysis (CNA) technique, introduced by Honeycutt and Anderson [19], is a standard tool for the interpretation of molecular dynamics simulations of structural transformations. The local environment of a pair of atoms is characterized by a set of four indices ( $i, j, k, m$ ). The first one indicates whether the pair of atoms are closer than a given cut-off distance  $r_c$ . In the present work  $r_c$  is chosen to be equal the semisum of the first-and second-nearest-neighbour distances in the perfect fcc Ag lattice, that is  $r_c = 0.35$  nm. The second index  $j$  is the number of common neighbours of the two atoms, and the third one is the number of bonds between the common neighbours. The fourth index is added to provide a unique correspondence between number and diagrams [19]. For instance, the 1551 pairs characterize the icosahedral-like local structure whereas the 1421 and 1422 pairs represent the fcc-like and hcp-like local structures, respectively. Additionally, icosahedral and fcc systems with structural defects are characterized by the 1541 and 1431 pairs, respectively. Finally, it is worth mentioning that pairs are named as type I if  $i = 1$  and type II otherwise.

**Electronic structure.** In order to calculate the electronic properties of silver nanoparticles we employ a tight-binding Hamiltonian given by

$$H = \sum_{\vec{R}} \sum_{\vec{R}'} |\vec{R}\rangle H_{R,R'} \langle \vec{R}'| \quad (5)$$

where  $\{|R\rangle\}$  is the orthonormal (atomic-like) basis set centred at the site  $R$  with one orbital  $s$  at each site. The matrix elements  $H_{R,R'}$  are defined by

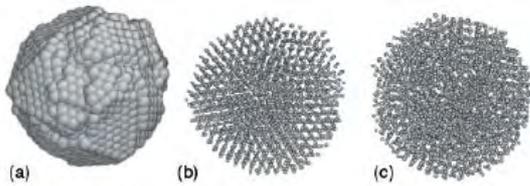
$$H_{R,R'} = \begin{cases} \varepsilon_0 & \text{if } \vec{R} = \vec{R}' \\ t_0 & \text{if } |\vec{R} - \vec{R}'| \leq r_c \\ 0 & \text{if } |\vec{R} - \vec{R}'| > r_c \end{cases} \quad (6)$$

with  $\varepsilon_0$  and  $t_0$  as the on-site and hopping terms, respectively.  $r_c$  is the same parameter as was employed in the CNA technique (see above). The atomic positions  $\{R\}$ , known from the MD simulation (see section 2.3), are fixed for these calculations. A physically relevant quantity for the study of the electronic properties of the system under study is the density of states projected on the

atomic position  $R$ , also known as the local density of states (LDOS). This quantity can be determined from:

$$n_R(\varepsilon) = \lim_{\gamma \rightarrow 0} \left\{ -\frac{1}{\pi} \text{Im} G_{R,R}(\varepsilon - i\gamma) \right\} \quad (7)$$

where  $G_{R,R}(\varepsilon - i\gamma)$  is the diagonal element of the one-particle Green function  $G = (\varepsilon - i\gamma - H)^{-1}$ . The recursion procedure is a real-space technique for tridiagonalizing a symmetric (Hermitian) Hamiltonian such that  $G$  can be expressed as a continued fraction formed by the so-called recursion coefficients. Details of the recursion method can be found in [20]. It is worth mentioning that this procedure allows us to collect the LDOS in different ways. Considering that an atom in an fcc solid has 12 first neighbours, for the nanoparticle we sum all the LDOS corresponding to atoms with 12 neighbours within  $r_c$  (fcc-like DOS, FDOS). Thus, in a well ordered nanoparticle with fcc-like structure the FDOS will be the main contribution to the total DOS. In this way we can compare the structural and electronic changes during the transformation.



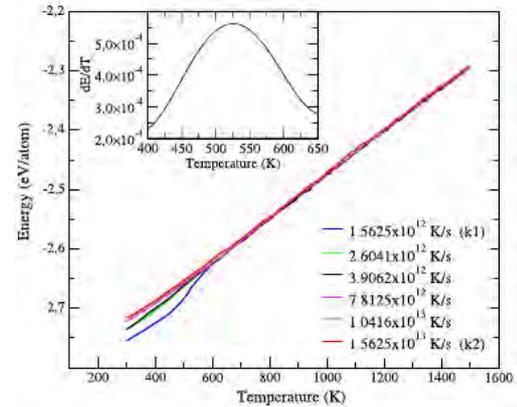
**Figure 1.** Atomic arrangements of the silver nanoparticle  $\text{Ag}_{2869}$  at 300 K cooled at rates of (parts (a) and (b))  $1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$  and (part (c))  $1.5625 \times 10^{13} \text{ K s}^{-1}$ . The snapshots (a) and (b) correspond to the same configuration but different orientations. Visualization of atomic arrangements was done employing the AtomEye software [21].

### 3. Results and discussion

#### 3.1 Atomic structure of silver nanoparticles

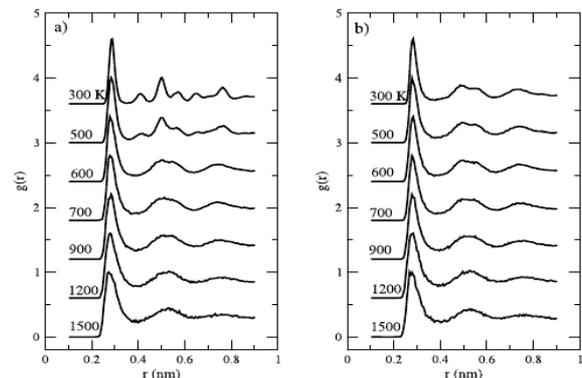
The nanoparticle  $\text{Ag}_{2869}$  is initially in the liquid state forming a nanodrop of approximately 4.4 nm diameter. As a result of quenching at different cooling rates we obtain, at 300 K, nanoparticles either in a crystal-like (cooling rate  $k_1 = 1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$ ) or a metallic glass (cooling rate  $k_2 = 1.5625 \times 10^{13} \text{ K s}^{-1}$ ) structure, as illustrated qualitatively in figure 1. An imperfect nanocrystal with noticeable faceted

morphology is obtained at a lower cooling rate ( $k_1$ ), as shown in figures 1(a) and (b). At a fast cooling rate ( $k_2$ ), nucleations of equilibrium phases are suppressed, and atoms exhibit random arrangements.



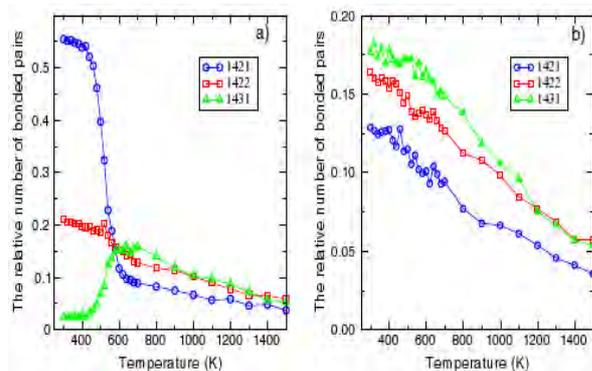
**Figure 2.** Caloric curves of the  $\text{Ag}_{2869}$  nanoparticle for various cooling rates. The curve of the fitted derivative  $dE/dT$  versus  $T$  for  $k_1 = 1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$  is shown in the inset.

Figure 2 shows the variation of the average internal energy,  $E_t$ , as a function of temperature for various cooling rates. At a cooling rate of  $k_1 = 1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$  the internal energy undergoes a sharp variation as the temperature decreases from approximately 600 to 500 K. As shown in the inset of figure 2, the transformation from liquid to crystal occurs over a wide temperature range (650–450 K): the peak of the heat capacity curve  $dE/dT$ , located at 527 K, is not sharp. On the other hand, at a cooling rate of  $k_2 = 1.5625 \times 10^{13} \text{ K s}^{-1}$  the caloric curve  $E_t$  has no inflection over the whole temperature range.



**Figure 3.** Pair correlation functions of the  $\text{Ag}_{2869}$  nanoparticle cooled at a rate of (a)  $1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$ , (b)  $1.5625 \times 10^{13} \text{ K s}^{-1}$ .

The continuous change of the curve indicates that the system does not suffer structural changes; i.e. an amorphous solid is obtained in the undercooling state. The reason for this is that a high cooling rate restricts the atomic diffusion. This behaviour is very similar to that reported by Chen *et al* [10] for a gold nanoparticle of 2112 atoms.



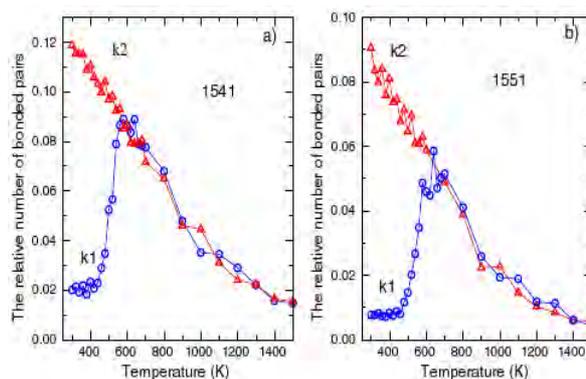
**Figure 4.** The relative numbers of bonded pairs 1421, 1422 and 1431 during freezing of the  $\text{Ag}_{2869}$  nanoparticle at cooling rates of (a)  $1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$ , (b)  $1.5625 \times 10^{13} \text{ K s}^{-1}$ .

The critical cooling rate,  $kc$ , is the minimum value which is necessary for avoiding crystallization. For the nanoparticle  $\text{Ag}_{2869}$  we estimate  $kc$  from the analysis of the time evolution of the energy,  $E(t)$ , as well as its temperature evolution,  $E(T)$  (see figure 2), and the corresponding PCFs  $g(r)$ . Thus, we obtain the value of  $kc$   $7.8 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$ . Although this value is close to that obtained for solid silver [14],  $kc$  depends on the size of the nanoparticle. It is also noticeable that the silver nanoglass, obtained at the cooling rate of  $1.5625 \times 10^{13} \text{ K s}^{-1}$ , is very unstable. For instance, at room temperature after 6.4 ps the nanoglass transforms to the crystal-like structure in agreement with [13].

The changes in the atomic distribution within the nanoparticles, during the cooling process are extracted from the pair correlation function. Figure 3 shows the PCF at several temperatures and for the  $k_1$  and  $k_2$  cooling rates. First, in the temperature interval from 1500 to 600 K, we note for both cooling processes that the PCFs are identical, and reveal the typical structural features of an amorphous liquid with short-range topological ordering. At the cooling rate of  $1.5625 \times 10^{13} \text{ K s}^{-1}$  the amorphous structure

of the  $\text{Ag}_{2869}$  nanoparticle is conserved down to room temperature. As temperature decreases, it is clearly noticeable that there is a splitting of the second peak in the PCF, which is characteristic of amorphous structures [22]. On the other hand, the PCF of the  $\text{Ag}_{2869}$  nanoparticles cooled at a rate of  $1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$  below 500 K shows a typical structure corresponding to the fcc crystal.

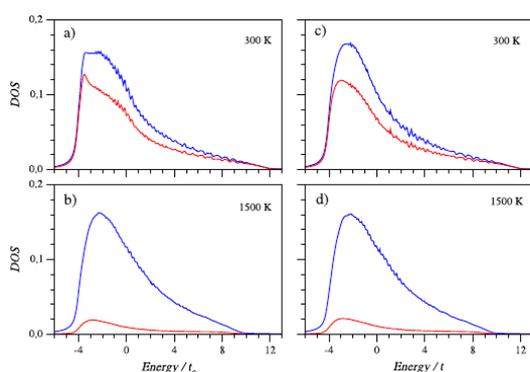
More detailed information on the atomic structure in the nanoparticle can be obtained using CNA. At the liquid state onset (1500 K), the most abundant pairs are 1201 (21%), 1311 (21%), 1101 (12%), and 1422 (5.7%), for type I; and 2101, 2211 pairs, for type II. Figures 4 and 5 show the variations of the relative numbers of several principal bonded pairs versus temperature. Quantities are normalized such that the total numbers of pairs with  $i = 1$  are unity. For temperatures above 650 K the number of principal pairs decreases slowly, but in the same proportion, after increasing the temperature, which occurs independently of the cooling processes ( $k_1$  or  $k_2$ ). This is an indication that the structure of the nanoparticle is not changing appreciably, which is in agreement with the PCF analysis (see figure 3). However, for temperatures below  $\sim 625 \text{ K}$  the  $\text{Ag}_{2869}$  nanoparticle, cooled at a rate of  $1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$ , undergoes drastic structural changes.



**Figure 5.** The relative numbers of bonded pairs in the  $\text{Ag}_{2869}$  nanoparticle: (a) 1541, (b) 1551.  $k_1$  and  $k_2$  are the cooling rates of  $1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$  and  $1.5625 \times 10^{13} \text{ K s}^{-1}$ , respectively.

The number of 1421 pairs increases from 8% to 50% when the temperature decreases from 625 to 450 K, while the number of 1431 pairs, which represents defective fcc

structure, practically falls to zero. Furthermore, the numbers of 1541 and 1551 bonded pairs increase equally, when temperature decreases to 625 K, for both  $k_1$  and  $k_2$  cooling processes. Below this temperature the ratio of 1541 and 1551 pairs falls practically to zero for a relatively slow cooling rate of  $1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$ , while for a faster cooling process (e.g.  $k_2$ ), the ratio of these pairs increases, reaching values of 12%, and 9% at room temperature, respectively (see figure 5). It seems that a low cooling rate allows the reorganization of the atomic order. As the present simulation reveals, the fcc crystalline silver nanoparticle of 4.4 nm size is more stable than an icosahedral one, which is consistent with the results of Baletto *et al.* [15]. These results are in good agreement with the CNA of a gold nanoparticle of 2112 atoms [10]. In the case of the small nanoparticle of 147 atoms the number of 1422 pairs, corresponding to hcp-like structures, increases to 35% (300 K) whereas the numbers of 1421 and 1551 pairs reach values of  $\sim 10\%$  at room temperatures. In summary, for the small (147 atoms) and large (2869 atoms) nanoparticles, after the transition, the fcc-like and hcp-like structures predominate, respectively. A more detailed study of change as a function of the particle size is necessary in order to identify a possible threshold between different structures, as was reported in the case of Ni clusters by Qi *et al.* [6].



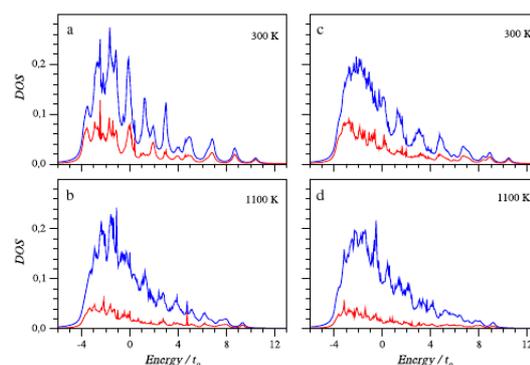
**Figure 6.** Total DOS (dark/blue lines) and FDOS (light/red lines) of the  $\text{Ag}_{2869}$  nanoparticle for two cooling rates:  $k_1 = 1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$  ((a) and (b)) and  $k_2 = 1.5625 \times 10^{13} \text{ K s}^{-1}$  ((c) and (d)). The corresponding temperatures are indicated in the panels.

### 3.2. Electronic structure of silver nanoparticles

To determine the DOS of the silver nanoparticles we consider  $t_0 = 1 \text{ eV}$  (reference energy),  $\epsilon_0/t_0 = 0$ ,  $\gamma/t_0 = 0.2$ ,  $\epsilon/t_0 = 0.05$  (energy step), and 75 (20) recursion coefficients for the  $\text{Ag}_{2869}$  ( $\text{Ag}_{147}$ ) cluster.

Figure 6 shows the DOS of the  $\text{Ag}_{2869}$  nanoparticle for  $k_1 = 1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$  and  $k_2 = 1.5625 \times 10^{13} \text{ K s}^{-1}$  for both initial (at 1500 K) and final (at 300 K) atomic configurations. Comparing the total DOS and the FDOS (fcc-like DOS) we can observe that at high temperatures the contribution of the FDOS to the total DOS is not remarkable.

This change completely at 300 K. For the  $k_1$  cooling rate, the total DOS at room temperature is slightly more similar to the DOS of the fcc solid sample (not shown here), especially for the main peak at  $\sim -3t_0$ , which is not observed in the case for  $k_2$ . This should indicate, in agreement with the analysis of the atomic order (see section 3.1), that the silver nanoparticle with a slow cooling rate becomes more ordered (close to its solid counterpart) after decreasing the temperature. The differences in the total DOS, at room temperatures, for the two cooling rates are more appreciable for the small nanoparticle ( $\text{Ag}_{147}$ ); see figure 7. For this case the FDOS is different from its fcc solid counterpart.



**Figure 7.** Total DOS (blue lines) and FDOS (red lines) of the  $\text{Ag}_{147}$  nanoparticle for two cooling rates:  $k_1 = 1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$  ((a) and (b)) and  $k_2 = 1.5625 \times 10^{13} \text{ K s}^{-1}$  ((c) and (d)). The corresponding temperatures are indicated in the panels.

## 4. Conclusions

The glass formation and crystallization of a supercooled silver nanodrop, 4.4 nm in diameter, has been investigated on the basis of the MD simulation with the TB-SMA

potential. The final structures are highly affected by the cooling rates.  $\text{Ag}_{2869}$  nanoparticles obtained in a supercooled liquid with cooling rates higher than the critical value  $k_c = 7.8 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$  are very unstable metallic glasses, and nanoparticles resulting from relatively slow cooling rates are close packed crystals (fcc and hcp structures), as indicated by the CNA technique. At the cooling rate of  $1.5625 \times 10^{12} \text{ K s}^{-1}$  we find a discontinuous structural transition near 527 K. The fully crystallized nanoparticle is a faceted polycrystal with a number of steps consisting of one atomic layer. The study of the evolution of the DOS with the temperature indicates that the electronic structure depends strongly on the size of the nanoparticle and the cooling rates.

### 5. Acknowledgment

The authors gratefully acknowledge the financial support of the CSI of the National University of San Marcos (Project N 081301061).

### 6. References

- [1] Eberhardt W. *Surf. Sci.* 2002; 500:242.
- [2] Baletto F, Ferrando R. *Rev. Mod. Phys.* 2005; 77:371.
- [3] Shrivastava S, Bera T, Roy A. *Nanotechnology.* 2007; 18:225103.
- [4] Gafner Yu, Gafner S, Entel P. *Phys. Solid State.* 2004; 46:1327.
- [5] Shi DW, He LM, Kong LG, Lin H, Hong L. *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.* 2008; 16:025009.
- [6] Qi Y, Cagin T, Johnson WL, Goddard W A III. *J. Chem. Phys.* 2001; 115:385.
- [7] Baletto F, Mottet C, Ferrando R. *Chem. Phys. Lett.* 2002; 354:82.
- [8] Nam HS, Hwang NM, Yu BD, Yoon JK. *Phys. Rev. Lett.* 2002; 89:275502.
- [9] Shim JH, Lee SC, Lee BJ, Suh JY, Whan Cho Y. *J. Cryst. Growth.* 2003; 250:558.
- [10] Chen Y, Bian X, Zhang J, Zhang Y, Wang L. *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.* 2004; 12:373.
- [11] Delogu F. *Nanotechnology.* 2007; 18: 485710.
- [12] Atis M, Aktas H, Guvenc Z. *Modelling Simul. Mater.* 2005; 13:1411.
- [13] Qi WH, Wang MP, Liu FX, Yin ZM, Huang BY. *Comput. Mater. Sci.* 2008; 42:517.
- [14] Tian ZA, Liu RS, Liu HR, Zheng CX, Hou ZY, Peng P. *J. Non-Cryst. Solids.* 2008; 354:3705.
- [15] Baletto F, Ferrando R, Fortunelli A, Montalenti F, Mottet CJ. *Chem. Phys.* 2002; 16:3856.
- [16] Reinhard D, Hall BD, Ugarte D, Monot R. *Phys. Rev. B.* 1997; 55:7868.
- [17] Cleri F, Rosato V. *Phys. Rev. B.* 1993; 48:22.
- [18] Stillinger FH, Weber TA. *Phys. Rev. A.* 1982; 25:978.
- [19] Honeycutt JD, Andersen HC. *J. Phys. Chem.* 1978; 91:4950.
- [20] Haydock R, Heine V, Kelly ML, Bullet DW. *Solid State Phys.* 1980; 35:215.
- [21] Li J. *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.* 2003; 11:173.
- [22] Li H, Wang G, Zhao J, Bian X. *J. Chem. Phys.* 2002; 116:10809.

### **III. Ingeniería Nuclear**

## Automatización del sistema de ventilación del reactor RP-10

Oscar Baltuano<sup>1,\*</sup>, Agustín Urcia<sup>2</sup>, Dionisio Canaza<sup>2</sup>, Rolando Arrieta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear,  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup>Dirección de Producción, Instituto Peruano de Energía Nuclear,  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

Se presentan los resultados del estudio para la automatización del sistema de ventilación y acondicionamiento de aire del reactor nuclear de investigación RP-10. Este reporte detalla el diseño, la estructura operativa, la ingeniería básica y el programa (firmware) empleado para la primera etapa, que consiste en la automatización del encendido y apagado para tiempos pre fijados de todos los equipos que forman parte del sistema de ventilación y acondicionamiento, sin intervención de ningún operador, para su funcionamiento rutinario y sentando las bases para el paso automático al modo de emergencia, cuando las condiciones radiológicas lo ameriten.

### Abstract

It presents the results of the study for the automation of the ventilation system and air conditioning in the RP-10 research reactor. This paper describes the design, operational structure, basic engineering and the program (firmware) used for the first phase consisting of automation on and off to pre set times of all devices as part of the ventilation and conditioning system without intervention of any operator for routine operation and laying the groundwork for the automatic emergency mode, when the radiological conditions warrant.

### 1. Introducción

En el diseño del sistema de ventilación y acondicionamiento del reactor nuclear RP-10 [1] se ha tomado en cuenta dos estados básicos de trabajo: Normal y Emergencia. El criterio del sistema se esquematiza en la Figura 5.

Condición Normal. El aire exterior ingresa a través de la unidad de entrada de aire Equipo N° 8 (equipo de inyección con filtro absoluto) y es expulsada al exterior, después de un proceso de filtrado con pre-filtro y carbón activado, por medio del grupo extractor N° 9. La diferencia de presión de aire entre los equipos 8 y 9 generan una depresión dentro del edificio del reactor (15 mm de columna de agua) para fines de protección radiológica al medioambiente en caso de accidente nuclear. El equipo N° 7, de recirculación, brinda homogenización y confort al edificio del reactor. El sistema de ventilación en su condición "normal" está diseñado para operar de forma ininterrumpida durante las 24 horas proporcionando condiciones adecuadas de seguridad y protección radiológica, además del confort en los lugares de trabajo.

Por razones de ahorro en el consumo de energía eléctrica y la necesidad de contar con

personal operador para el accionamiento manual de los equipos, este sistema solo opera durante la jornada laboral normal, de lunes a viernes de 08:00 a 16:00 horas.

Condición de Emergencia. En caso de accidente con emisión de material radiactivo proveniente del núcleo del reactor, detectado en chimenea (detector gamma en Rad/hora), se procede a cambiar el modo de funcionamiento de ventilación "normal" a ventilación de "emergencia" del reactor [2], para esta fase el sistema actúa de la siguiente manera:

Apaga el equipo 8, cierra herméticamente las persianas de toma de aire exterior, los 3 montantes de inyección: recinto, sala de intercambiadores y sala de máquinas.

El equipo 9 cierra la persiana de expulsión al exterior, abriendo la persiana de recirculación, de este modo se establece un circuito de aire cerrado a través del banco de filtros. El equipo N° 7 (de recirculación) permanece en funcionamiento cumpliendo su función de homogenización, contribuyendo al mantenimiento de la depresión y evitando que la temperatura del recinto se eleve debido

---

\* Correspondencia autor: obaltuano@ipen.gob.pe

a cargas propias del local.

Proyecto para automatizar el sistema. El horario de operación adoptado por las razones anteriormente mencionadas, cumple con los requisitos para la protección del personal durante la jornada laboral, empero se ha observado que las condiciones de temperatura y humedad dentro del recinto están afectando el funcionamiento adecuado de los equipos y deteriorando parte de la infraestructura interna; por ejemplo, la pintura de las paredes del recinto esta desprendiéndose y los equipos electrónicos, tanto de comunicación como de laboratorio, presentan fallas frecuentemente, por esas razones se ha visto por conveniente lo siguiente:

**a) Implantar un sistema de control**, para la condición “normal” que automatice el encendido y apagado de forma temporizada de todos los equipos que forman parte del sistema de ventilación, sin intervención de ningún operador, con la finalidad de ampliar el período de funcionamiento después de la jornada laboral.

**b) Plantear el paso automático** del sistema de ventilación de condición “normal” a “emergencia”, cuando la dosis de radiación supere el límite prefijado [3]. Para ello se tiene implementado un sistema de detectores de radiación gamma en la chimenea de salida del sistema y todos los controles para ejecutar la recirculación del aire en el recinto. En este trabajo se detalla la fase (a) y se deja la propuesta para la fase (b).

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Consideraciones de diseño

Se plantearon algunos requerimientos para facilitar el uso del sistema electrónico [4] por parte del usuario, brindándole mejores prestaciones, así como también funciones de escalabilidad y facilidad de actualización. En las opciones para el usuario se incluyeron un teclado matricial para la programación y operación, un módulo LCD para visualización de mensajes y una interface serial RS-232 para interconexión con otros periféricos o una PC.

La secuencia misma de operación de las electroválvulas fue establecida mediante ingeniería inversa por cuanto no se encontró

la documentación detallada de la secuencia de operación.

### 2.2 Secuencia de operación

El sistema de ventilación para cumplir con los criterios de funcionamiento, en ambas situaciones de operación, está constituido por un grupo de ventiladores, una bomba impulsora de agua y una unidad enfriadora de acuerdo con el siguiente detalle:

**Tabla 1.** Distribución de equipos en el sistema de ventilación del RP-10.

<p><b>Equipo 7:</b> Homogenizador de aire y acondicionador Ventilador 1, caudal de 22,000 m<sup>3</sup>/h Ventilador 2, caudal de 22,000 m<sup>3</sup>/h</p>
<p><b>Equipo 8:</b> Inyección de aire al edificio del reactor Ventilador 1, caudal 6,000 m<sup>3</sup>/h Ventilador 2, caudal 6,000 m<sup>3</sup>/h</p>
<p><b>Equipo 9:</b> Extracción de aire del edificio del reactor Ventilador 1, caudal 6,000 m<sup>3</sup>/h Ventilador 2, caudal 6,000 m<sup>3</sup>/h</p>
<p><b>Bomba de agua:</b> Motor de 1/2HP Caudal: 100m<sup>3</sup>/h</p>
<p><b>Unidad enfriadora:</b> Potencia de 15kW</p>

Adicionalmente, el sistema cuenta con clapetas accionadas por aire comprimido (sistema neumático).

En la sala de control está ubicado el tablero de mando del sistema de ventilación para el encendido y apagado de los ventiladores, selector manual de normal/emergencia e indicadores de habilitación y marcha de la unidad enfriadora. La secuencia de funcionamiento es la siguiente:

- En sala de máquinas del secundario:
  - a. Habilitación de la unidad enfriadora.
  - b. Encendido de compresor de aire para los actuadores neumáticos (clapetas) del sistema de ventilación.
  - c. Encendido de bomba de impulsión de agua.
  - d. Habilitación del tablero de control de los ventiladores.
- En sala de control:
  - a. Encendido de los equipos del sistema de ventilación según días calendario. En condiciones normales de operación se encienden tres ventiladores, uno por cada

equipo (7, 8 y 9). Por razones de funcionalidad los días impares del calendario operan los tres ventiladores '1', y los días pares los tres ventiladores '2'.

El control del encendido/apagado de los ventiladores se realiza mediante pulsadores de "marcha" y "parada" en el tablero de control. Los controles en el tablero están agrupados en dos sistemas: 1 y 2 para cada uno de los equipos (7, 8 y 9). Hay en total 6 pulsadores para el arranque de cada ventilador y 6 pulsadores para la parada de cada uno de ellos. Se ha etiquetado cada uno de ellos como: S1-V7, S1-V8, S1-V9, S2-V7, S2-V8 y S2-V9. Adicionalmente, sobre el tablero se ubican leds indicadores que señalan el instante en el cual cada ventilador se encuentra en "marcha" y es posible habilitar el siguiente equipo.



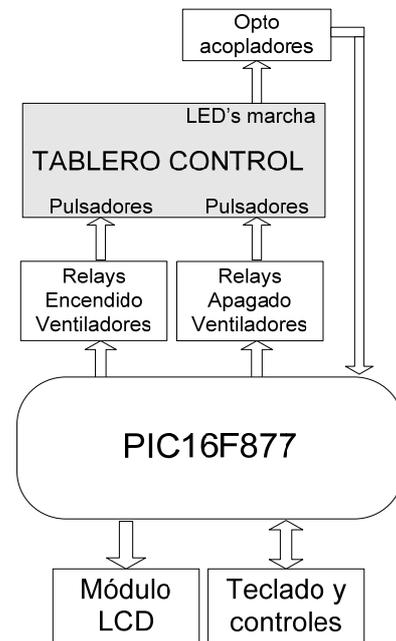
**Figura 1.** Imagen del tablero de control del sistema de ventilación del edificio del RP-10. Se observan al medio los pulsadores de arranque y parada de los ventiladores.

### 2.3 Ingeniería básica

Un sistema embebido totalmente autónomo y fácilmente configurable por el usuario, fueron las consideraciones básicas de diseño. Para las tareas de configuración se consideró incluir en el sistema de control un teclado matricial y un módulo LCD. Diversas alternativas están disponibles; sin embargo, considerando la experiencia ganada en diseño de sistemas similares anteriormente construidos [4,5], se optó por utilizar un microcontrolador PIC16F877 [6]. Este dispositivo posee 33 líneas de entrada y salida, suficientes para cubrir las necesidades de diseño y una velocidad de operación

adecuada a los requerimientos. El teclado matricial de 4x4 permite realizar toda la configuración del dispositivo y junto con algunos pulsadores adicionales es posible realizar la operación completa del mismo. Un módulo LCD de 16x2 caracteres es utilizado para visualizar los mensajes durante la operación y configuración del sistema.

Una consideración importante que ha sido tomada en cuenta en la etapa de diseño, es no modificar en absoluto las conexiones del tablero de control manual que se utiliza para controlar cada uno de los dispositivos del sistema de ventilación.



**Figura 2.** Diagrama de bloques simplificado del control electrónico.

Por tal motivo, se colocó un relay mecánico en paralelo con cada uno de los pulsadores de marcha y parada (total: 12) de los ventiladores del sistema. Los relays han sido elegidos considerando que los pulsadores activan señales con un voltaje de 220VAC. La bobina de cada relay es activada con una tensión de 12VDC y un par de circuitos integrados ULN2803 son utilizados como *drivers* para acoplar las salidas de control de 5V del microcontrolador con las bobinas de 12VDC de cada relay.

De la misma forma, para evitar hacer modificaciones en el tablero de indicadores, se optó por utilizar opto-acopladores H11L1 para acondicionar las señales indicadoras de marcha (LEDs) de cada ventilador a las entradas del microcontrolador.

## 2.4 Firmware

El firmware o programa para el microcontrolador ha sido escrito en Lenguaje C, utilizando el compilador Hi-Tech [7] para la familia PIC16F e integrado dentro del entorno de desarrollo MPLAB IDE de Microchip. El módulo LCD ha sido configurado para operar en modo de 4 bits con retardos de software para la temporización. La configuración para las diferentes opciones de operación se realiza íntegramente a través del teclado matricial y el módulo LCD.

El microcontrolador opera a partir de un cristal de 4MHz, con lo cual se obtiene una tasa de 1 MIPS (mega instrucciones por segundo) la cual es suficiente para cubrir los requerimientos de funcionamiento.

El firmware es una adaptación de [5] al cual se le han incluido las rutinas necesarias para manejar el hardware adicional utilizado.

El funcionamiento se basa en una máquina de estados secuenciales en la cual cada estado configura los relays y verifica los sensores correspondientes. El tiempo en el cual el sistema puede permanecer en cada estado es configurable por el usuario.

Se ha programado el firmware con 3 modos de operación básicos: solo sistema 1, solo sistema 2 y ambos. Esto permite que el usuario seleccione el sistema de ventiladores de acuerdo con el día programado.

Los tiempos de apagado de cada ventilador pueden ser configurados a través del teclado y el LCD en un intervalo desde 1 segundo hasta 10,000 segundos. La secuencia de apagado está pre-configurada de acuerdo con los requerimientos del usuario: grupo 9, grupo 7 y grupo 8 en forma secuencial.

En esta etapa de desarrollo únicamente se ha considerado la automatización del apagado de los ventiladores. Sin embargo, el software desarrollado contempla la posibilidad de incluir la secuencia de control de las máquinas en el secundario, quedando con ello configurado la opción del paso a emergencia cuando sea requerido.

## 3. Resultados y Discusión

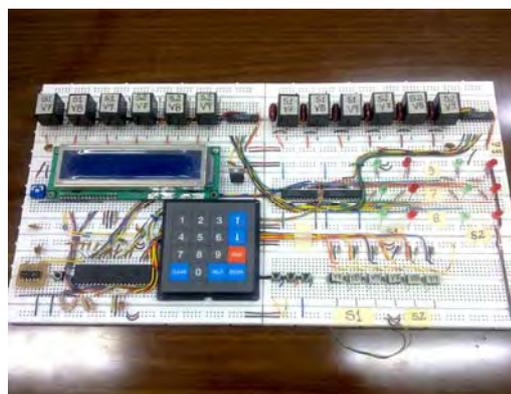
Se ha realizado las pruebas preliminares del sistema de control, instalando el mismo en

forma paralela con los pulsadores y leds en el tablero de mando de ventilación, ubicado en sala de control.

Las pruebas para la optimización en la condición “normal” han cumplido con los requerimientos y expectativas de operación, por lo cual se viene procediendo a la implementación de los controles requeridos para automatizar los equipos correspondientes en el sistema secundario.

Para el cambio de la condición de operación del modo “normal” a “emergencia” en forma automática, hace falta un transductor que permita accionar el paso con valores de contaminación en chimenea de salida del aire luego de un eventual accidente.

En este trabajo se detalla la parte que corresponde a la optimización y se deja la propuesta para la etapa del paso automático de “normal” a “emergencia”. Se requiere realizar más pruebas y afinar detalles para su incorporación al capítulo de especificaciones técnicas luego de un riguroso análisis de seguridad. Se cuenta (por extensión) con el modo de apagado del ventilador que inyecta aire y el control de cierre de las clapetas de toma de aire, la de salida por chimenea y el de apertura de las clapetas que propician la recirculación.



**Figura 4.** Imagen del controlador electrónico que ha sido montado sobre un protoboard para las pruebas preliminares de funcionamiento.

## 4. Conclusiones

Bajo el esquema planteado se logran tres impactos en el sistema de ventilación y acondicionamiento:

- Económico: Logrando optimizar el funcionamiento del sistema en el modo “normal” sin recurrir a mayores gastos por concepto de energía eléctrica y pagos al

personal.

- Ambiental: El paso automático a la condición de emergencia del sistema evita posibles contaminaciones al medioambiente por no detectar a tiempo, la demora en las decisiones u otras fallas humanas en la actual situación.

- Tecnológico: El desarrollo de soluciones tecnológicas adaptadas a las necesidades específicas propias de las instalaciones del RP-10 aseguran el mantenimiento y la escalabilidad a futuro de las mismas.

## 5. Agradecimiento

Al grupo de operación y mantenimiento del reactor RP-10 por su apoyo y sugerencias.

## 6. Bibliografía

[1] Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Informe de seguridad. Capítulo X. Sistemas Auxiliares. Lima: IPEN; 1992.

[2] Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Plan de emergencia radiológica del reactor RP-10. Lima: IPEN; 1992.[Informe interno].

[3] Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Reglamento de Protección Radiológica. Lima: IPEN; 1997.

[4] Baltuano O, Gago J, Hernández Y. Desarrollo de control electrónico para el sistema neumático del Laboratorio 29. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN; 2009. p. 157-161.

[5] Baltuano O, Gago J. Modernización electrónica del sistema neumático finlandés "Rabbit. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN; 2009. p. 152-156.

[6] Microchip Inc. PIC16F87X Data Sheet.

[7] Hi-Tech Software. PICC STD Compiler Manual; 2008.

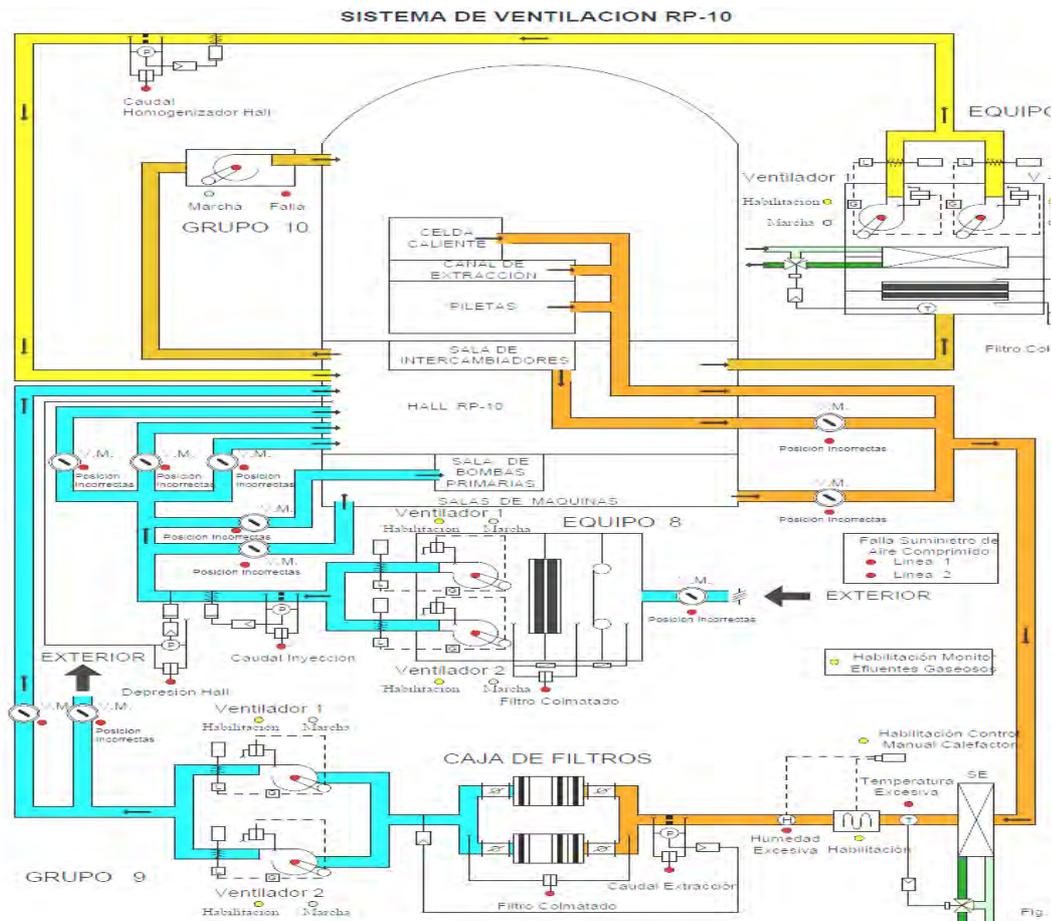


Figura 5. Esquema del sistema de ventilación del RP-10.

## Diseño y construcción de una campana de flujo laminar vertical para el recinto de $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP

Luis Cavero, Roberto Koga, Jorge Herrera, Ramos Martínez, Luis Huatay, Elías Ocaña,  
Max Medina\*

Dirección de Producción, Planta de Producción de Radioisótopos, Instituto Peruano de Energía  
Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

Se presenta el resultado del proceso de diseño y construcción de una campana de flujo laminar vertical con suministro de aire limpio para el recinto de producción de Sm-153 de la Planta de Producción de Radioisótopos (PPR), clasificada como área de grado "A". En este recinto se produce el  $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP y no cumplía con las exigencias de la Dirección General de Medicamentos, Insumos y Drogas (DIGEMID). Las características técnicas del dispositivo son: un flujo de 98 m<sup>3</sup>/h, velocidad 0.12 m/s y una presión de 6 mmca de aire limpio.

### Abstract

This paper presents the results of the design process and construction of a vertical laminar flow hood extractor with clean air, the area classified as Grade "A" for the production premises of the Sm-153 Radioisotope Production Facility (PPR). This site is produced by  $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP and did not fulfill the requirements of the General Directorate of Medicines, Supplies and Drugs (DIGEMID). The technical characteristics of the device are: a flow of 98 m<sup>3</sup>/h, 0.12 m/s velocity and pressure 6 mmwg of clean air.

## 1. Introducción

El criterio para la instalación el flujo de aire en el interior de los recintos de producción de radioisótopos es evitar que el material radiactivo salga al exterior del recinto; por esa razón, el aire del recinto debe ingresar a las celdas a través de un banco de filtros, hacer su recorrido por la celda y ser extraído previo paso por otro banco de filtros, con la finalidad de mantener el recinto a una presión negativa respecto a su entorno que varía de -05 a -35 mmca.

El dispensado del producto  $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP se realiza en el interior del recinto, y la exigencia según la DIGEMID era que el área de dispensado debería ser un recinto limpio de grado "A", con una presión positiva de aire respecto a su entorno.

Para este requerimiento se diseñó un sistema que cumpliera estas exigencias a cargo del personal de la Planta de Producción de Radioisótopos (PPR). En el presente trabajo se describen los conceptos y las actividades desarrolladas.

## 2. Descripción del problema

En el recinto de Sm-153 se produce y

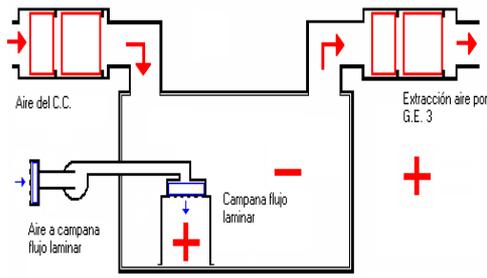
fracciona el producto  $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP para uso de pacientes mediante inyectables. En la visita de inspección efectuada por la DIGEMID (22/12/2009) se notificó que el recinto de producción trabajaba en un ambiente con presión negativa respecto a su entorno, lo cual no estaba acorde con las normas y reglamentos de las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y solicitaron a la PPR modificar o adecuar la producción y que la etapa de fraccionamiento sea efectuada en una área con clasificación grado "A" y presión positiva con respecto a su entorno.

## 2. Diseño

En el diseño del sistema de suministro de aire limpio a un área con clasificación grado "A" para el fraccionamiento del producto  $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP (Figura 1), se mantiene el diseño original para la toma del aire en el corredor caliente a través de un banco de filtros, barrido del volumen de la celda y extracción a través del un banco de filtros por medio del Grupo de Extracción 03 del sistema de ventilación de la Planta.

---

\* Correspondencia autor: mmedina@ipen.gob.pe

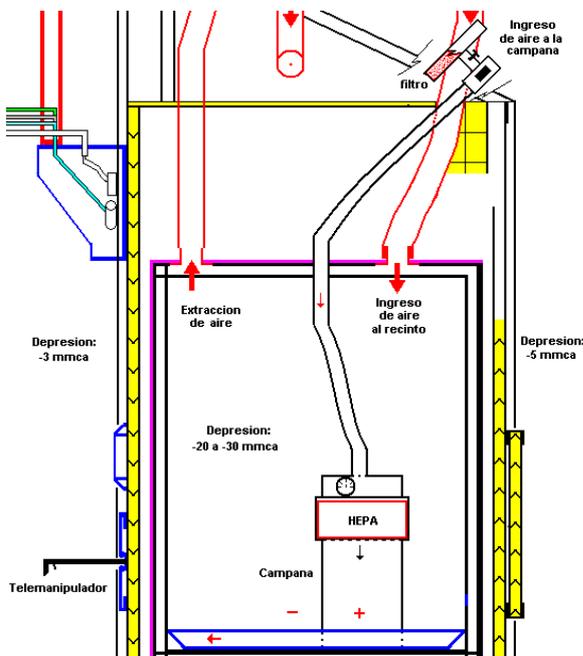


**Figura 1.** Sistema para suministro de Aire limpio a zona de fraccionamiento en recinto.

Igualmente, se mantiene la presión negativa (de -05 a -35 mmca) del recinto respecto a su entorno.

**3.1 Sistema de suministro de aire al área con clasificación grado “A”**

En el nuevo diseño y construcción la toma de aire del corredor caliente se brinda a través de un filtro, hace el barrido del volumen de la campana y descarga en el recinto, la extracción se realiza a través de un banco de filtros por medio del Grupo de Extracción 03 del sistema de ventilación de la Planta. Se mantiene la presión positiva (6 mmca) de la campana respecto a su entorno (Figura 2).

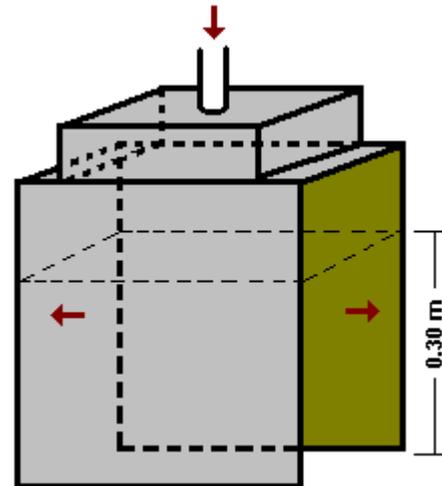


**Figura 2.** Emplazamiento de la modificación.

**3.2 Fabricación e instalación**

Se fabricaron el alojamiento del filtro a la toma de aire en acero inoxidable, los conductos de aire en PVC y manguera flexible, llaves de compuerta para regular el caudal de aire, ventilador en acero inoxidable, campana vertical (Figura 3) con un alojamiento para el filtro HEPA en acero inoxidable y la adecuación de un motor eléctrico.

De igual modo, se instalaron: la caja de filtro, el filtro, el motor eléctrico, ventilador, la válvula reguladora y conductos de PVC en el techo del recinto, la manguera flexible, la válvula reguladora y la campana dentro del recinto, el presostato y el filtro HEPA en la campana, se modificó el módulo particular y el tablero de comando e instalaciones eléctricas para controlar el funcionamiento del sistema.



**Figura 3.** Diseño de Campana flujo laminar vertical.

**3. Pruebas y puesta en marcha**

En la tabla 1 se muestra los requisitos para la calificación de áreas.

**Tabla 1.** Clasificación de áreas.

Grado del Área	Número máximo de partículas/m <sup>3</sup> permitidas		Número máximo de microorg./m <sup>3</sup> permitidos
	0.5 a 5 μ	> 5 μ	
Clase A	3,500	0	<1
Clase B	3,500	0	5
Clase C	350,000	2,000	100



**Figura 4.** Campana de flujo laminar en el recinto.

Se efectuaron pruebas de toma de muestras en las diferentes etapas de la implementación, durante las modificaciones realizadas para el ingreso de aire al recinto, en la fase de preinstalación (banco de ensayos en el Laboratorio 22) y durante la instalación de la campana en el recinto, lugar donde la DIGEMID realizó la observación (Figura 4), Los resultados se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Toma y medición de muestras.

Ocasión de medida	Lugar (grado de área)	Número máximo de partículas/m <sup>3</sup> permitidas		Q M <sup>3</sup> /h	V m/s	Presión mmca
		0.5 a 5 μ	> 5 μ			
Antes de cambios 10/Oct/08	Recinto	24'583,700	1,786	140	0.02	
Modif. Ventilación, 28/Nov/08	Recinto	7'451,586	1,186	140	0.02	
Recinto con campana 16/02/10	Entorno (C)	48,329	0	140	0.02	
	Campana (A)	43	0	98	0.12	6

#### 4. Resultados

Se ha logrado construir un recinto para el proceso de producción del <sup>153</sup>Sm-EDTMP con una calificación de Grado A y el área circundante con una calificación de Grado C. La instalación de este dispositivo representa una mayor confianza en la calidad de nuestros productos cumpliendo las exigencias de la DIGEMID.

#### 5. Conclusiones

La instalación de este dispositivo mejoró notablemente la infraestructura del recinto y la calidad de aire, garantizando las condiciones ambientales en la zona de fraccionamiento del producto inyectable (<sup>153</sup>Sm-EDTMP), minimizando los riesgos de contaminación por partículas viables, no viables y microorganismos.

#### 6. Bibliografía

- [1]. Dirección General de Medicamentos, Insumos y Drogas (DIGEMID). Manual de buenas prácticas de manufactura de productos farmacéuticos. Lima: DIGEMID; 1999.
- [2]. Agurto G, Petzoldt I, Medina M, *et al.* Diseño y construcción de áreas limpias para la producción de agentes para radio-diagnóstico. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN; 2009. p. 179-182.

## Control de calidad de las cápsulas y tapas de aluminio empleadas en la irradiación de blancos para la producción de los radioisótopos

María Benites<sup>1,\*</sup>, Pablo Mendoza<sup>2</sup>, Andrés Corahua<sup>1</sup>, Jesús Miranda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dirección de PROD-PPR (Producción-Planta de Producción de Radioisótopos), Instituto Peruano de Energía Nuclear, Centro Nuclear "RACSO", Lima, Perú

<sup>2</sup> Dirección de INDE-TANU (Investigación y Desarrollo-Técnicas Analíticas Nucleares), Instituto Peruano de Energía Nuclear, Centro Nuclear "RACSO", Lima, Perú

### Resumen

En el presente trabajo se da a conocer los resultados del estudio del control de calidad de las cápsulas y tapas de aluminio empleadas en la irradiación de blancos, para la producción de radioisótopos en la Planta de Producción de Radioisótopos (PPR) del Centro Nuclear RACSO del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Este estudio se llevó a cabo debido a la elevada tasa de dosis en la celda RMI del reactor RP-10, obteniéndose en algunos casos valores por encima de los 1000 mR/h. Se asignó en primer lugar un código a dicho insumo de acuerdo con nuestro sistema de calidad, siendo este el IN 135. Asimismo, en base a los resultados de todos los controles de calidad, se elabora la especificación técnica, ET 001-PR20-PPR, denominada "Especificación técnica de las cápsulas y tapas de aluminio", en la cual el tipo de aleación normalizada de aluminio solo puede ser 1XXX ó 2XXX ( $Al \geq 90.75\%$  y  $Mn \leq 0.9\%$ ). Considerando como parámetro principal solo la tasa de dosis en la celda RMI del RP-10, en la recepción de las cápsulas de aluminio para la PPR, el tipo de aleación normalizada de aluminio a emplear puede ser 1XXX ó 2XXX, según lo estipulado en la ET mencionada; sin embargo, considerando el porcentaje de fallas en el sellado y hermeticidad, el aluminio a emplear debe ser del tipo 1XXX ( $Al \geq 99\%$  y  $Mn \leq 0.05\%$ ), por lo cual, se modifica la ET, quedando vigente la ET 001-PR20-PPR – Versión 2.

### Abstract

In the present work there are announced the results of the study of the quality control of the capsules and lids of aluminum used in the irradiation of targets, for the production of radioisotopes in the Plant of Production of Radioisotopes (PPR) of the Nuclear Center RACSO of the Peruvian Institute of Nuclear Energy (IPEN). This study, it was carried out due to the high rate of dose in the cell RMI of the RP-10 reactor, being obtained in some cases value over the 1000 mR/h. A code was assigned first to the above mentioned input of agreement by our system of quality, being this the IN 135. Likewise, on the basis of the results of all the quality controls, the technical specification is elaborated, ET 001-PR20-PPR, called "Technical specification of the capsules and lids of aluminum", in which the type of alloy normalized of aluminum only can be 1XXX or 2XXX ( $Al \geq 90.75\%$  and  $Mn \leq 0.9\%$ ). Considering the rate of dose to be a principal parameter only in the cell RMI of the RP-10, in the receipt of the capsules of aluminium for the PPR, the type of alloy normalized from aluminum to use can be 1XXX or 2XXX, according to the stipulated in the mentioned ET; nevertheless, considering the percentage of faults in the sealed one and staunchness, the aluminum to using must be of the type 1XXX ( $Al \geq 99\%$  and  $Mn \leq 0.05\%$ ), for which, the ET is modified, remaining in force the ET 001-PR20-PPR - Version 2.

### 1. Introducción

Las cápsulas y tapas de aluminio son insumos empleados en la Planta de Producción de Radioisótopos (PPR) del Centro Nuclear RACSO, para irradiar los blancos de los radioisótopos que serán producidos. Los utilizados inicialmente, fueron de fabricación argentina que tenían sus respectivas

especificaciones técnicas. Al agotarse el insumo se buscó un proveedor local (empresa SABRA E.I.R.L.), que fabricó la matriz, basándose en las medidas y diseño según plano argentino con código PE01079932320400MP000[1], de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

\* Correspondencia autor: mbenites@ipen.gob.pe

Las adquisiciones de dicho insumo realizadas hasta el año 2003, no tuvieron fallas. En el mes de setiembre del 2008 se recibe un nuevo lote del mismo proveedor. El 22/09/08, el oficial de Radioprotección informa al jefe de la PPR, que las tasas de dosis en la celda RMI del RP-10 eran más elevadas a lo acostumbrado, obteniéndose valores de 320 mR/h, razón por lo cual se procede a realizar una exhaustiva investigación. Se le asigna un código a dicho insumo de acuerdo con nuestro sistema de calidad, siendo este el IN 135. Se realiza una serie de consultas al personal de la PPR, tanto del Dpto. de MAPL como de PROC. Asimismo, se inicia una búsqueda bibliográfica, para tener mayor información, acerca de la existencia de los tipos de las aleaciones normalizadas de aluminio.

## 2. Experimental

El total de unidades entregadas por el proveedor, desde el 28 de enero al 22 de abril de 2009, fue de 650 unidades de cápsulas con sus respectivas tapas, distribuidas en 05 envíos, generándose sus respectivas solicitudes de inspección y muestreo de materiales, correspondiendo a las siguientes: IN-029/09 (14 unidades), IN-032/09 (96 unidades), IN-033/09 (270 unidades), IN-040/09 (220 unidades), IN-047/09 (50 unidades).

Los controles efectuados fueron los siguientes:

- Pureza química
- Sellado y prueba de estanqueidad
- Forma y dimensiones
- Tasa de dosis en la celda RMI del RP-10

### 2.1 Pureza química

El control de pureza química se realizó a 07 muestras, efectuándose de la siguiente forma:

#### 2.1.1 Método de análisis

Análisis por activación neutrónica (AAN), mediante la técnica de "Determinación de radionúclidos de vida media intermedia y larga por activación neutrónica, método  $k_0$ " Este método fue realizado por el personal de la Dirección de INDE-TANU (Investigación y Desarrollo -Técnicas Analíticas Nucleares).

#### 2.1.2 Preparación de las muestras

Las cápsulas y tapas, para ser analizadas, fueron preparadas en forma de virutilla, identificadas, embolsadas y enviadas por separado. El peso aproximado de las cápsulas fue de 3 g y de las tapas de 2 g. Muestras de similar peso se dejaron en la PPR, como contra muestra.

### 2.2 Sellado y prueba de estanqueidad

La prueba de sellado y de estanqueidad se realizó en la Sección de Irradiación del Dpto. de Procesos-PPR, habiéndose efectuado previamente el tratamiento tanto de las cápsulas y tapas con NaOH y HNO<sub>3</sub>, siguiendo las instrucciones de la PO 003-PR20-PPR denominada "Procedimiento para sellado, control de estanqueidad de las cápsulas de aluminio y entrega de blancos al RP-10".

El tipo de sellado o soldadura que se realiza a estas cápsulas con sus tapas, es en frío, aplicando presión mediante matrices a ambas piezas, siendo necesario que las piezas sean dúctiles.

### 2.3 Forma y dimensiones

Cada vez que se recepcionaban las muestras de los 05 envíos, se tomaba una muestra de un 10%, teniendo un total de 65 unidades, tanto de cápsulas como de tapas.

Para el control de la forma y mediciones de las 65 unidades iniciales, se tomó una muestra de 32; aplicando la Tabla Militar, con un nivel de inspección y plan de muestreo reducido, considerando un total de 650 unidades (Tabla 1).

**Tabla 1.** Muestras del control de forma y dimensiones.

N° Envío	Solicitud inspección y muestreo (Fecha)	N° unidades enviadas	N° unidades del muestreo inicial	unidades medidas
1	N-029/09 (28-01-09)	14	2	del 1 al 2 (2)
2	N-032/09 (04-02-09)	96	10	del 3 al 8 (6)
3	N-033/09 (20-02-09)	270	27	del 9 al 20 (12)
4	N-040/09 (26-03-09)	220	22	del 21 al 30 (10)
5	N-047/09 (22-04-09)	50	5	del 31 al 32 (2)

Las mediciones se realizaron, analizándolas tal cual vinieron originalmente, es decir sin previo tratamiento. El instrumento de medición empleado fue el Vernier Mitutoyo, con una sensibilidad de 0.05 mm.

### 2.4 Tasa de dosis en la celda RMI del RP-10 (Recepción de muestras irradiadas)

Se tomó datos de los registros de recepción del RP-10 de los años 2008 y 2009, del Área de Radioprotección-PPR.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1 Pureza química

En el análisis químico para determinar el tipo de aleación de aluminio empleada es muy importante el % de aluminio y para nosotros sobre todo el contenido de la impureza de Manganeso, debido a que este elemento al ser irradiado en el reactor RP-10, se activa el Mn-56, con energías gammas altas entre 0.85 – 3.37 MeV, con una vida media de 2.58 h, dando tasas de dosis altas innecesarias al personal. Por tal motivo, el % de Al debe ser  $\geq 90.75\%$  y el % de Mn  $< 0.9\%$ .

Después de la primera alerta del Oficial de Radioprotección (22/09/08) por las elevadas tasas de dosis en la celda RMI del RP-10 de 320 mR/h, se envía a INDE-TANU una muestra de las cápsulas y las tapas de aluminio recibidas, para que se realice un análisis químico mediante la técnica de AAN. Asimismo, se envía una muestra de cápsula y tapa de un lote anterior de 200 unidades enviadas por el mismo proveedor en el año 2003.

Debido a que el insumo no tenía la pureza química solicitada, se notifica al proveedor, su retiro para su tratamiento. Posteriormente, el proveedor envía un lote de unidades del insumo, el cual es analizado por la misma técnica anterior, pero en este caso, se envían muestras de dicho insumo de 03 tipos: El primero, correspondía a un envío anterior realizado por el mismo proveedor en el 2003; el segundo, correspondía al lote reciente y el tercero era de fabricación argentina. Los resultados de pureza química del nuevo envío, continúan siendo no satisfactorios. El proveedor efectúa la acción correctiva necesaria, cambiando el tipo de la plancha de aluminio empleada en la fabricación del insumo. Posteriormente, el proveedor envía un pequeño lote de 14 unidades (28-01-09), los mismos que fueron analizados obteniéndose resultados satisfactorios. Con esta corrección se completa el pedido en 04 envíos posteriores, dando un total de 650 unidades.

Teniendo la totalidad de las unidades se hace un muestreo de todos los envíos y se realiza

el análisis de pureza química. Analizando el contenido de aluminio e impurezas reportadas y comparándolos con la bibliografía revisada (Cuadro N°1) [2], se elabora la Tabla 2, en la cual se establece el tipo de aleación de aluminio normalizada, empleada en la fabricación del insumo en mención.

**Tabla 2.** Resultados de pureza química.

N° Inf. de Análisis / Muestra	Fabricante / Año	% Pureza química Al	% Mn	Tipo Al empleado
1266 / Muestra lab. 3162 1268 / Antiguo 3164	SABRA / 2003	94.7 ± 1.4	0.0035 ± 0.0012	2XXX
1268 / Argentino 3166	ARGENTINO / 1992	95.0 ± 1.8	0.0023 ± 0.0010	2XXX
1266 / Muestra lab. 3160 1268 / Nuevo 3165	SABRA / SET 2008	90.1 ± 2.5	1.1040 ± 0.0080	3XXX
1280	SABRA / ENERO 2009	94.6 ± 4.1	0.0159 ± 0.0008	2XXX
1280-A	SABRA / ENERO- ABRIL 2009	97.1 ± 3.0	0.0115 ± 0.0007	1XXX

El resultado del control de pureza química es Conforme, la lámina de aluminio empleada es del tipo 1XXX, correspondiendo al 1050 (clasificación internacional según la norma AISI-SAE).

**Cuadro 1.** Composición química de Aluminio tipos 1XXX, 2XXX, 3XXX.

#### Composición química EN AW-1050 (1XXX)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	V	Otros	Al
0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.03	99.50

#### Composición química EN AW-2024 (2XXX)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros (c/uno)	Otros (en total)	Al
0.5	0.5	3.8 - 4.9	0.3 - 0.9	1.2 - 1.8	0.10	0.25	0.15	0.05	0.15	El resto

#### Composición química EN AW-3004 (3XXX)

Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Otros (c/uno)	Otros (en total)	Al
0.6	0.7	0.05 - 0.20	1.0 - 1.15	0.10	0.05	0.15	El resto

#### 3.1.1 Inspección del OTAN - Licencia N° 4199.A2

En el informe de inspección realizado por la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN) a la PPR, en marzo del año 2009, con relación a la Licencia N° 4199.A2, se

tiene la siguiente Disposición Transitoria D.01:

*“D.01 En un plazo perentorio mejorar el sistema de protección en la celda de producción de  $^{99m}\text{Tc}$  debido a la presencia de fotones energéticos (1778 keV) provenientes del  $^{28}\text{Si}$  e informar a la OTAN de su cumplimiento”.*

Al respecto, se informa lo siguiente: El inspector del OTAN, escribe la D.01, basado en las especificaciones técnicas de las cápsulas de aluminio, en las cuales en el tipo 1XXX (1050) y 2XXX (2024), el contenido de silicio (Si) permitido como valor máximo es 0.25 y 0.5 %, respectivamente.

Se le hace la siguiente aclaración a la OTAN: El  $^{28}\text{Si}$  es un isótopo estable. El silicio natural, está compuesto por  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{29}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ , con las abundancias isotópicas de 92.2%; 4.7% y 3.1%, respectivamente, con lo cual habría la posibilidad de que en el RP-10, se produzca la reacción nuclear:  $^{28}\text{Si} (n, p) ^{28}\text{Al}$ . El  $^{28}\text{Al}$ , es bastante energético, posee energías gammas de 1778.9 keV; pero su vida media es de 2.24 minutos, con lo cual al cabo de 10 vidas medias, es decir 22 minutos, ya no es radiológicamente significativo; por lo tanto, no se requiere mejorar el sistema de protección en la celda de producción de  $^{99m}\text{Tc}$ , quedando levantada dicha D.01.

Cabe indicar además, que según la técnica de análisis por activación neutrónica, el límite menor de detección del Si (en mezclas o aleación) es de 0.5%, por esa razón, en los informes respectivos no se reportan tal elemento. Sin embargo, aún con esta restricción del límite de detección, si hubiera Si en estas concentraciones, se está cumpliendo con las exigencias de los tipos de aleación de aluminio normalizada 1XXX y 2XXX.

### 3.2 Sellado y prueba de estanqueidad

Los resultados fueron satisfactorios, no hubo fugas. El tipo de aluminio empleado, fue del tipo 1XXX.

Un análisis retrospectivo entre los años 1989 y 2007, nos permite identificar un promedio anual de fallas en alrededor del 3% en la soldadura de las cápsulas, siendo el tipo de aluminio empleado el 2XXX. Estas fallas se incrementan a 4.4% en el tercer y cuarto trimestre del año 2008, siendo el aluminio

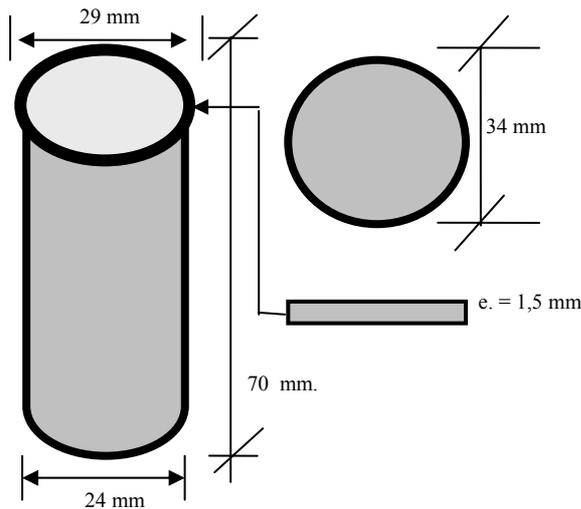
empleado del tipo 3XXX. El contenido de manganeso, expresado en porcentaje, según el tipo de aluminio 3XXX, 2XXX y 1XXX, respectivamente es el siguiente: 1.0 - 1.15; 0.3 - 0.9 y 0.05 [3,4]. En el sellado de las cápsulas con las tapas, influye mucho el contenido de Mn, debido a que este elemento es el que aporta la propiedad de dureza al aluminio, por lo tanto con el aluminio 3XXX, el porcentaje de fallas es mayor. Hasta la elaboración de este informe, empleando el aluminio tipo 1XXX, se tiene un reporte de 0 % de fallas en el sellado. El resultado de este control es Conforme.

### 3.3 Forma y dimensiones

La forma de las cápsulas son cilíndricas y el de las tapas circulares (Figura 1). El resultado de las mediciones realizadas a las 32 unidades se presenta en la Tabla 3. En las especificaciones técnicas iniciales de este insumo, el espesor de las cápsulas y tapas era de 2 mm, y debido a que el proveedor empleó una lámina de 1.5 mm se tuvo que modificar las nuevas especificaciones técnicas a 1.5 mm (Figura 2). Para validar este cambio se llevó a cabo un ensayo-probando que las cápsulas entren en la abridora de cápsulas de los recintos. El resultado del control de la forma y las dimensiones fue Conforme.



**Figura 1.** Forma de la cápsula y tapa de aluminio.



**Figura 2.** Dimensiones de la cápsula y tapa de aluminio.

**Tabla 3.** Mediciones de las dimensiones de las cápsulas y tapas de aluminio.

32 Muestras	CÁPSULAS					TAPAS	
	Altura (mm)	Ø externo boca (mm)	Ø interno boca (mm)	Ø externo base (mm)	Espesor pared (mm)	Ø (mm)	Espesor (mm)
Promedio	70.65	29.10	20.76	23.86	1.49	34.10	1.50
DESEST	0.12	0.02	0.29	0.02	0.03	0.00	0.02
MAX	71.00	29.15	21.10	23.90	1.60	34.10	1.60
MIN	70.40	29.05	20.00	23.80	1.40	34.10	1.50
Especifi cación	70 ± 1	29 ±1	21 ±1	24 ±1	1.50 ± 0.5	34 ± 1	1.50 ±0.5

### 3.4 Tasa de dosis en la celda RMI (Recepción de muestras irradiadas) del RP-10

En la operación de recepción de las muestras irradiadas, la tasa de dosis en la celda RMI del RP-10 debe ser  $\leq 150$  mR/h.

Los datos de las tasas de dosis obtenidos se muestran en la Tabla 4. En esos valores, hay que considerar el número de cápsulas totales recepcionadas. Por ejemplo, los días 06/10/08 y 10/11/08, en donde se obtienen valores  $> 1000$  mR/h, se deben a que todas las muestras fueron preparadas en las cápsulas nuevas que fueron rechazadas, porque aún no habían sido controladas y aceptadas. En los otros días, donde se obtienen valores  $\geq 150$  mR/h, se debe a que una o más cápsulas, habían sido preparadas con anterioridad, empleándose las cápsulas rechazadas.

Posteriormente, entre el 17/11/08 y 26/01/09 se emplearon cápsulas pertenecientes al

Departamento de Química, de un envío realizado por el mismo proveedor, en el año 2003.

Desde el 26/01/09, donde se otorga la conformidad del control de pureza química de este insumo, hasta la fecha, no se ha reportado problemas con relación a la tasa de dosis en la celda RMI del RP-10.

El resultado de este control es Conforme.

**Tabla 4.** Reporte de la tasa de dosis en la celda RMI del RP-10 - recepción de las cápsulas de aluminio para la PPR.

Fecha	Cantidad cápsulas Mo-99	Cantidad cápsulas Teluro	Cantidad cápsulas Sm-153	Tasa de dosis en la celda RMI del RP-10 (mR/h)
01-09-08	04	02	01	160
08-09-08	04	02	01	155
15-09-08	04	01	01	118
<b>22-09-08</b>	<b>04</b>	<b>02</b>	<b>01</b>	<b>320</b>
29-09-08	04	02	01	15
<b>06-10-08</b>	<b>04</b>	<b>02</b>	<b>01</b>	<b>&gt;1000</b>
<b>13-10-08</b>	<b>04</b>	<b>02</b>	<b>01</b>	<b>980</b>
<b>20-10-08</b>	<b>04</b>	<b>02</b>	<b>01</b>	<b>540</b>
<b>27-10-08</b>	<b>04</b>	<b>01</b>	<b>01</b>	<b>185</b>
03-11-08	04	02	-----	130
<b>10-11-08</b>	<b>05</b>	<b>02</b>	<b>01</b>	<b>&gt;1000</b>
17-11-08	03	-----	-----	53
24-11-08	05	-----	-----	65
01-12-08	05	-----	-----	47
09-12-08	03	-----	01	130
22-12-08	03	-----	-----	30
29-12-08	04	-----	-----	45
05-01-09	03	-----	-----	35
12-01-09	03	-----	-----	10
19-01-09	05	-----	-----	40
26-01-09	04	-----	-----	7
<b>02-02-09</b>	<b>04</b>	-----	-----	<b>530</b>
09-02-09	04	-----	-----	58
16-02-09	04	-----	-----	42
<b>23-02-09</b>	<b>04</b>	<b>02</b>	<b>01</b>	<b>295</b>
02-03-09	05	-----	01	45
09-03-09	05	-----	01	36
16-03-09	04	-----	01	-----
23-03-09	04	02	01	60
30-03-09	04	01	01	38
06-04-09	04	01	01	47
13-04-09	04	01	01	66
20-04-09	04	02	01	60
27-04-09	04	02	01	61
04-05-09	04	02	01	70
11-05-09	04	01	01	52
18-05-09	05	01	01	60
25-05-09	05	02	01	60
01-06-09	05	02	01	100
08-06-09	05	02	01	98
15-06-09	05	02	01	70
22-06-09	05	02	01	65
30-06-09	05	01	-----	55

## 4. Conclusiones

Sobre la base de los resultados obtenidos, de pureza química y la tasa de dosis en la celda RMI del reactor RP-10, en la recepción de las cápsulas de aluminio para la PPR y analizando los tres tipos de aleación normalizada de aluminio, 1XXX, 2XXX y

3XXX, las cápsulas y tapas a ser empleadas en la PPR solo podían ser del tipo 1XXX ó 2XXX ( $Al \geq 90,75 \%$  y  $Mn \leq 0.9 \%$ ), según se estipuló en las especificaciones técnicas de este insumo, la ET001-PR20-PPR, Versión 1, denominada “Especificación técnica de las cápsulas y tapas de aluminio”. Sin embargo, teniendo en cuenta el porcentaje de fallas en el sellado y hermeticidad, la ET mencionada tuvo que modificarse, elaborándose la ET001-PR20-PPR, Versión 2, en la cual el aluminio a emplear debe ser del tipo 1XXX ( $Al \geq 99\%$  y  $Mn \leq 0.05\%$ ).

- La Disposición transitoria D.01, emitida por la OTAN a la PPR, en marzo del año 2009, con relación a la Licencia N° 4199.A2 del 2009, queda levantada.
- Todos los controles realizados a este insumo dan como resultado CONFORME, con lo cual se aprueba y libera.

## 5. Recomendaciones

Todo lote de este insumo, que ingrese a la PPR, debe ser controlado según el Sistema de Calidad implementado en la PPR, para finalmente ser aprobado y liberado.

## 6. Agradecimientos

- Quím. Pablo Mendoza Hidalgo, de la Sección de Técnicas Analíticas Nucleares de la Dirección de INDE.

- Ing. Jesús Miranda Alzamora, responsable de la Sección de Irradiación, del Dpto. de Procesos – PPR.
- Ing. Victor Andrés Corahua Muñante, oficial de radioprotección del Área de Radioprotección – PPR.

## 7. Bibliografía

- [1] Comisión Nacional de Energía Atómica. Diseño de la cápsula y tapa de aluminio. Plano de PE01079932320400MP000. Buenos Aires: CNEA. [Informe interno].
- [2] Universidad Nacional de Misiones. Aluminio. [serie en Internet]. Consulta: nov 2009. Disponible en URL: <http://tabay.unam.edu.ar/aulavirtual/moodledata/8/Aluminio.pdf>
- [3] International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys – April 2006.
- [4] AISI-SAE (Instituto Americano de la Siderurgia, American Iron and Steel Institute - Sociedad de Ingenieros de Automoción, Society of Automotive Engineers). Supersedes: April 2006, Revised: February 2009.
- [5] Benites María. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Técnico 001-09. [Informe interno].

## Sistema supervisor para la tasa de exposición en celdas de producción

José Pardo<sup>1,\*</sup>, Andrés Corahua<sup>2</sup>, Elías Ocaña<sup>1</sup>, Buenaventura Guevara<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Mantenimiento - PROD, IPEN, Lima 41, Lima, Perú

<sup>2</sup> Oficina de Radioprotección - RADPROD, IPEN, Lima 41, Lima, Perú

<sup>3</sup> Departamento de Producción - PROD, IPEN, Lima 41, Lima, Perú

### Resumen

Se ha desarrollado un sistema computarizado cuya función es captar los pulsos generados por un equipo de detección de tasa de dosis. Este sistema está conformado por un detector FAG modelo FHT 155A con salida de pulsos, una tarjeta de adquisición National Instruments modelo PCTIO-10 con canales de entradas a contadores de pulsos y el software desarrollado en Labview 6i que lee y procesa los pulsos generados por el detector. Los datos son adquiridos en tiempo real, mostrados en el panel principal y almacenado en un archivo en formato Excel para su posterior análisis. El programa también permite registrar datos importantes del proceso como el número de lote, fecha, hora de inicio y término del proceso, entre otros.

### Abstract

We have developed a computerized system whose function is to digitize the pulses generated by a computer dose rate screening. This system consists a detector FAG model 155A FHT with pulse output, a card National Instruments data acquisition model PCTIO-10, with inputs pulse channels counters and developed software in Labview 6i, that reads and processes the pulses generated by the detector. The data are acquired in real time, displayed in the main panel and stored in a file in Excel for further analysis. The program also allows you to record important data of process as the batch number, date, start time and end the process, among others.

## 1. Introducción

El presente proyecto tiene por finalidad el desarrollo de un sistema de supervisión por computadora para el registro y medición de la tasa de dosis durante el proceso de producción del radioisótopo Iodo-131, en la Planta de Producción de Radioisótopos (PPR) del IPEN, la misma que complementa el sistema de seguridad y protección radiológica. El sistema identifica cualquier variación en la tasa de dosis a la exposición como consecuencia del incremento de los vapores de Iodo-131 retenidas en los filtros de carbón activado en el recinto de producción.

El sistema está conformado por dos componentes; en primer lugar, el hardware cuya función es captar los pulsos generados por el detector FAG FHT 155A, la que es previamente acondicionada y amplificada por el detector, luego es adquirida y digitalizada por la PC [1], con esta finalidad se utiliza la bornera CB50 y la tarjeta modelo PCTIO 10 de National Instruments; en segundo lugar, el software, desarrollado en Labview 6.i [3],

que tiene como pantalla principal el diseño de un panel virtual para captar el registro histórico de datos, botones para el inicio y fin de la adquisición, indicador visual para verificar el estado de la comunicación y campos para el ingreso de datos importantes del proceso como es el número de lote, fecha y hora, etc.

## 2. Desarrollo del trabajo

### 2.1 Hardware

Integrada por dispositivos electrónicos que permite captar las señales físicas del exterior y convertirla en señales digitales para ser procesadas en la PC.

El esquema básico se compone de:

- Adquisición y
- Digitalización de la señal.

#### 2.1.1 Adquisición de la señal

La señal es acondicionada por el detector

---

\* Correspondencia autor: jpardo@ipen.gob.pe

FAG FHT 155A que posee salida de pulso y enviados a la tarjeta PC TIO 10 de N.I. [4] a través de un cable coaxial que se conecta con la bornera CB 50 [2] de N.I. (Figura 1).

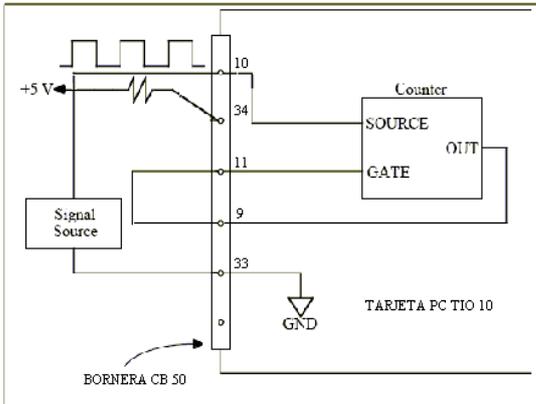


Figura 1. Diagrama de conexión bornera CB 50 National Instruments.

2.1.2 Digitalización de la señal

La PCTIO 10 es una tarjeta de adquisición de datos configurable como contador y/o temporizador, tanto para las señales de entrada como de salida, análogas o digitales (Figura 2).

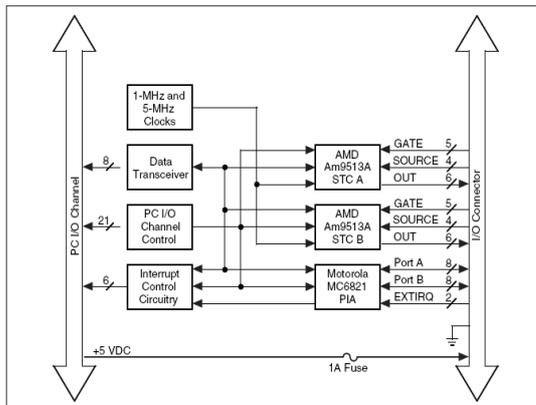


Figura 2. Diagrama tarjeta PC TIO 10 National Instruments.

Need Head	Need Head	Need Head
Base I/O Address	Hex 1A0 (factory setting)	
Interrupt Level	Interrupt level 5 selected (factory setting)	W1: Row 5
Local Interrupt	No Connect and No Connect (factory setting)	W2: No Connect No Connect

Figura 3. Conf. DIP tarjeta PC TIO 10 National Instruments.

Las señales ingresan por el canal 4 de la bornera CB 50. La configuración de la tarjeta como contador de pulsos se observa en las Figuras 3 y 4.

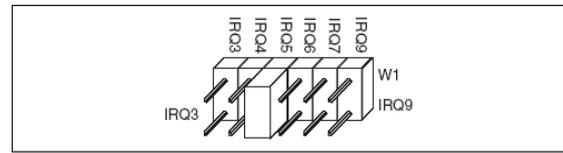


Figura 4. Conf. IRQ de PC TIO 10 National Instruments.

2.2 Desarrollo del software

La PC utilizada es de arquitectura AMD K-6 de 300 Mhz de velocidad. El programa permite controlar y administrar mediante las funciones pre diseñadas de lectura/escritura del canal 4 de la tarjeta PC TIO 10 (Port I/O), para la adquisición de los datos generados por el detector durante la producción del Iodo 131.

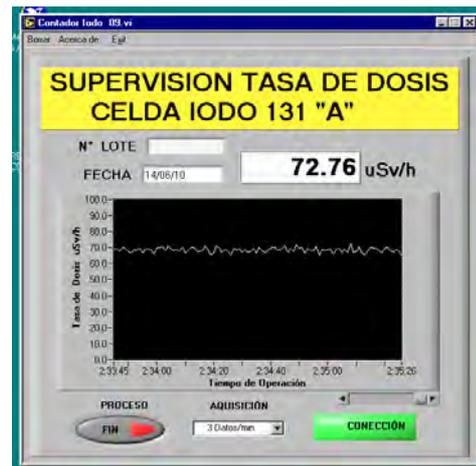


Figura 5. Panel principal del sistema de supervisión.

El programa consta de tres módulos, en el primer módulo se generan las señales de lectura y escritura en el puerto (selección del canal, control de la conversión y el envío de las señales digitalizadas a la memoria de la PC para su adquisición), conversión a unidades de tasa de exposición (uSv/h) según el protocolo establecido en las fichas técnicas de los componentes utilizados y muestra en el panel de la pantalla para su visualización.

El segundo módulo está encargado de archivar en línea, asignando de forma automática por nombre del archivo la fecha en la que se realiza la medición. Los datos procesados del canal se graban en un archivo de extensión \*.xls (para su posterior interpretación y análisis) junto con los datos

complementarios del proceso, como el número de lote del producto, hora de inicio y hora finalización del proceso, etc. (Figura 5).

El tercer módulo administra las señales de inicio y frecuencia de la adquisición de los

datos.

En la figura 6 se observa los módulos y el programa fuente del sistema desarrollado en el lenguaje gráfico Labview 6.i.

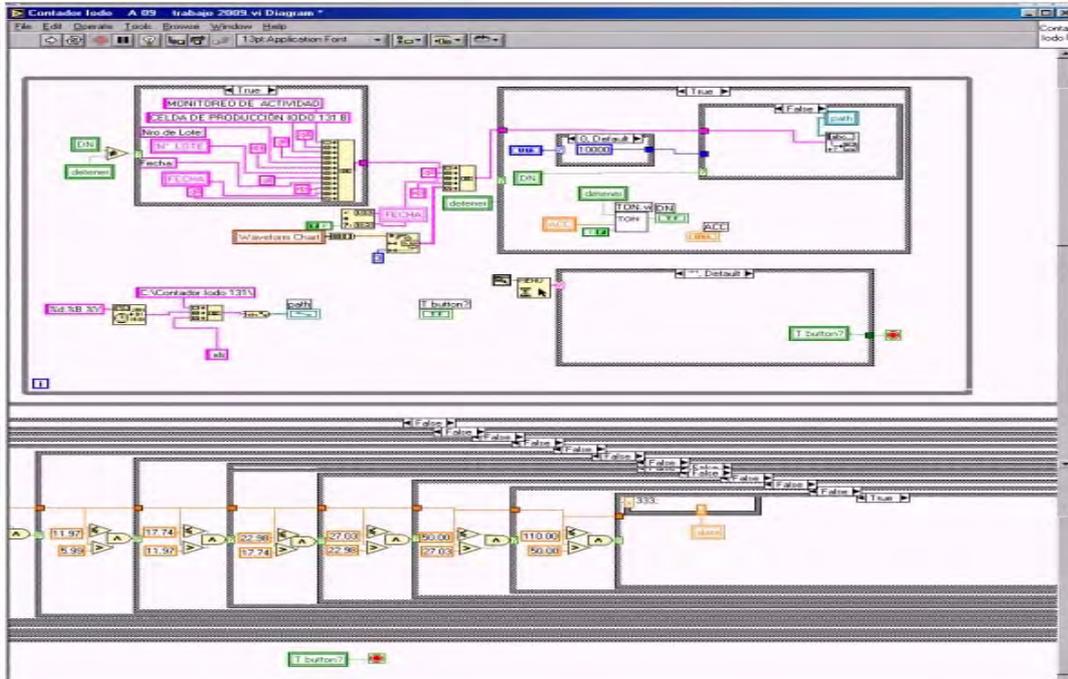


Figura 6. Programación grafica en Labview 6i.

### 3. Resultados y Discusión

- Se ha diseñado un sistema automatizado que permite supervisar y registrar la variación de la tasa de exposición durante el proceso productivo del Iodo 131 en forma automática.
- El sistema permite al operador determinar cualquier error durante el proceso productivo al detectar cualquier incremento o variación significativa en la tasa de exposición registrada en los filtros de carbón activado.
- El equipo ha sido probado en procesos productivos, generándose diferentes archivos en MS-Excel donde se registraron la variación de las tasas de exposición alcanzados, los datos fueron corroborados con los equipos manuales obteniéndose un registro de datos confiable como se observa en la figura 7.

Microsoft Excel - 12 Mayo 2010				
Archivo Edición Ver Ver Ver Insertar Formato Herramientas				
Arial 10				
JB	A	B	C	D
1	SUPERVISION	TASA DE DOSIS		
2	CELDA DE PRODUCCIÓN	IODO 131 A		
3	Nro de Lote:			
4	Fecha:	05/12/10		
5				
6	08:46:02 a.m	74.66		
7	08:46:06 a.m	74.66		
8	08:46:12 a.m	73.71		
9	08:46:32 a.m	77.59		
10	08:46:52 a.m	74.41		
11	08:47:12 a.m	75.95		
12	08:47:32 a.m	74.91		
13	08:47:52 a.m	74.81		
14	08:48:12 a.m	74.81		
15	08:48:32 a.m	78.69		
16	08:48:52 a.m	74.41		
17	08:49:12 a.m	74.66		
18	08:49:32 a.m	75.15		
19	08:49:52 a.m	76.5		
20	08:50:12 a.m	75.9		
21	08:50:32 a.m	74.91		
22	08:50:52 a.m	77		
23	08:51:12 a.m	73.91		
24	08:51:32 a.m	79.89		
25	08:51:52 a.m	75.01		
26	08:52:12 a.m	75.75		
27	08:52:32 a.m	76		
28	08:52:52 a.m	77.74		
29	08:53:12 a.m	77.15		
30	08:53:32 a.m	75.8		
31	08:53:52 a.m	75.06		
32	08:54:12 a.m	73.96		
33	08:54:32 a.m	75.4		
34	08:54:52 a.m	76.65		
35	08:55:12 a.m	73.96		

Figura 7. Archivo Excel generado por el sistema.

#### 4. Conclusiones

- El sistema desarrollado es de bajo costo, permite supervisar y registrar los datos del proceso sin la asistencia del operador.
- El sistema identifica el comportamiento de la tasa de exposición durante todo el proceso de producción del radioisótopo Iodo-131.
- Permite crear un registro de datos confiable.
- Optimiza las condiciones de trabajo y facilita la trazabilidad de los procesos.

#### 5. Agradecimientos

Agradecemos a la Dirección de Producción por las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo.

#### 6. Bibliografía

- [1] Cifuentes E, Pardo J. Sistema de adquisición y monitoreo de procesos SADQ-I. Revista de Electrónica - UNMSM. 2007 Ago; 19:3-6.
- [2] National Instruments. Soporte técnico. [homepage de Internet]. Disponible en: URL <http://sine.ni.com/support/app/main/p/lang/es>
- [3] NI.- Labview. User Manual.; 2000.
- [4] FAG FHT155A. Manual de Usuario.

## Construcción de un medidor digital de tiempo para un laboratorio de calibraciones

Ever Cifuentes<sup>1,3,\*</sup>, Tony Benavente<sup>2,3</sup>, Enrique Rojas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Lima 41, Perú

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos

### Resumen

En la medición de las magnitudes dosimétricas (kerma en aire o dosis absorbida en agua) se utiliza un sistema de medición compuesto por un electrómetro, para coleccionar carga eléctrica en un tiempo determinado, y una cámara de ionización donde se producen los iones. El Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas (LSCD/IPEN) cuenta con un estándar secundario marca Nuclear Enterprises, modelo: IONEX 2500/3 el cual requiere de un medidor de tiempo compatible con sus funciones internas. En el presente trabajo se muestra el desarrollo y la implementación de un medidor digital de tiempo para el laboratorio, basada en el uso de un microcontrolador AT89C52 de la empresa ATMEL, programado con el software BASCOM (familia del 8051) y para la visualización se utilizó un LCD de 16 x 2 caracteres.

### Abstract

In the measurement of dosimetric quantities (kerma in air or absorbed dose in water) we use a measurement system consisting of an electrometer to collect electric charge in a given time and an ionization chamber where ions are produced. Secondary Laboratory Calibration Dosimetry (LSCD / IPEN) has a secondary standard trademark Nuclear Enterprises, model: IONEX 2500 / 3 which requires a timer compatible with its internal functions. This paper shows the development and implementation of a digital meter of time for laboratory, based on the use of a microcontroller AT89C52 ATMEL, programmed with the BASCOM software (family 8051) and we used an LCD display of 16 x 2 characters.

### 1. Introducción

Para la medición de las magnitudes dosimétricas en el LSCD del IPEN, se utiliza un estándar compuesto por un electrómetro y una cámara de ionización, los equipos modernos poseen integrado un medidor de tiempo operado por funciones colocadas en el mismo electrómetro. El estándar IONEX 2500/3 es un equipo de muy buena respuesta y compatible con diferentes cámaras de ionización para realizar mediciones en el campo de la radioterapia y radioprotección [1], el tiempo de colección de carga eléctrica se realiza manualmente con un medidor de tiempo analógico; como consecuencia se tiene un incremento en la incertidumbre de las mediciones, debido a que no están sincronizadas el medidor de tiempo y el electrómetro al iniciar la colección de cargas. Una alternativa es el desarrollo de un medidor de tiempo que pueda operar con las señales que maneja el electrómetro IONEX 2500/3 [2].

Para el inicio de la colección se hace uso del contacto, normalmente abierto de un relé, que tiene su salida en un terminal posterior del equipo IONEX 2500/3, esta señal ingresa a un pin del microcontrolador AT89C52 [3] el cual está programado para iniciar y parar el proceso de conteo de tiempo. Cuando se presione nuevamente el botón de inicio del equipo IONEX 2500/3, el conteo de tiempo se integra y cuando se presiona previamente el botón de RESET la cuenta de tiempo empieza nuevamente.

El desarrollo del presente trabajo integra dos aspectos; la parte de hardware, cuya función es captar las señales del relé y del reset para la activación del procedimiento correspondiente, y la parte de software en la etapa de construcción de las rutinas, para que las funciones estén de acuerdo con lo planificado. Damos énfasis al desarrollo de esta fase.

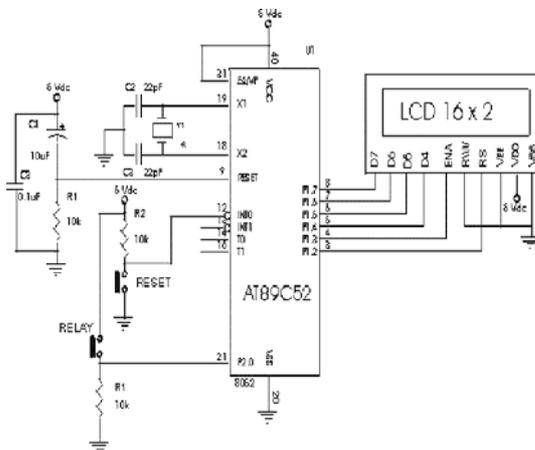
---

\* Correspondencia autor: ecifuentes@ipen.gob.pe

## 2. Desarrollo del trabajo

### 2.1 Hardware

En la figura 1 se muestra el esquema y los diferentes componentes usados para la construcción del cronómetro y que está integrada por: un microcontrolador AT89C52 de la empresa ATMEL, con sistema oscilador compuesta de un cristal de 8 Mhz y dos condensadores de 22 pF, un pulsador de RESET para borrar las cuentas del cronómetro, un LCD de 16 x 2 caracteres para mostrar el tiempo especificado en un formato de horas, minutos, segundos y centésimas de segundo, y por último el contacto de normalmente abierto (NO) de señal de salida del relé del equipo IONEX 2500/3.



**Figura 1.** Diagrama del cronómetro.

En la Figura 2 se muestra la parte frontal del equipo construido y en funcionamiento.

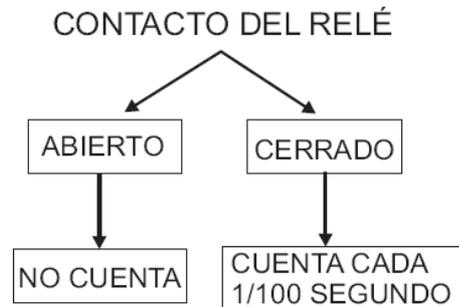


**Figura 2.** El Cronómetro en operación.

### 2.2 Desarrollo del software

En la Figura 3 se muestra la lógica de habilitación de cuentas del cronómetro, en ella vemos que el estado de relé es el que habilita las cuentas, su acción está sincronizada con un pulsador de START del equipo del IONEX 2500/3.

Para las cuentas en centésimas se hace uso de la interrupción INT1 (interrupción como temporizador del microcontrolador T89C52) el cual es producido cada cierto número de oscilaciones del cristal. En cada interrupción se incrementa un contador base para la rutina de tiempo a ser presentada en un display LCD.D.



**Figura 3.** Lógica de habilitación de cuenta.

Para el borrado de la cuenta se hace uso de un pulsador de RESET que realiza la interrupción INTO (interrupción externa).

Todo el programa se ha realizado haciendo uso del software Bascom para el 8051 de la empresa MCS Electronics [4], por su facilidad en la parte de programación, sobre todo durante el traslado de la información al LCD y las configuraciones de las interrupciones.

## 3. Resultados y Discusión

- El error en la medición del tiempo es mínimo por cuanto se hace uso de una rutina de corrección de error cada minuto.
- En la figura 4 mostramos el sistema de medición integrada por el equipo medición equipo IONEX 2500/3 y el cronómetro de este modo se cumple con los objetivos mencionados del presente trabajo.



**Figura 4.** Sistema de medición.

#### 4. Conclusiones

- Se ha logrado mejorar las incertidumbres en la medición del tiempo como parámetro importante del sistema de medida.
- El uso de los microcontroladores nos permiten complementar el desempeño, como sistema de medida, de los equipos de alto rendimiento.

#### 5. Agradecimientos

A las Direcciones Generales de Servicios e Investigación y Desarrollo del IPEN, por las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo.

#### 6. Bibliografía

- [1] International Atomic Energy Agency. Calibration of dosimeter used in radiotherapy. Technical Reports Series N° 374. Vienna: IAEA; 1994.
- [2] Nuclear Enterprises Limited. Manual for user. England; 1980.
- [3] Atmel Corporation. Data Sheet for AT80C52. [serie en Internet]. Disponible en: <http://www.atmel.com>
- [4]MCS Electronics Bascom Avr. [serie en Internet]. Disponible en: <http://www.mcselec.com>

## **IV. Aplicaciones en Minería, Industria y Medioambiente**

## Demanda nacional de energía: Período 2005-2030

Juan Avila<sup>1,\*</sup>, Olgger Anaya<sup>1</sup>, Carlos Cáceres<sup>2</sup>, Víctor Altamirano<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dirección de Producción (PROD), Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Dirección General de Planeamiento (OGP), Ministerio de Energía y Minas, Av. Las Artes Sur 260, Lima 41, Perú

<sup>3</sup> Petróleos del Perú S.A. (PETROPERU). Enrique Canaval Moreyra 150. Lima 27, Perú

### Resumen

Se presenta la demanda de energía proyectada para el período 2010–2030 a nivel país, obtenida mediante el uso del modelo MAED, en el marco del proyecto “Fortalecimiento de capacidades para el Desarrollo de Sistemas Energéticos Sostenibles” RLA/0/040, auspiciado y financiado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Se ha considerado tres escenarios denominados: bajo, medio y alto para los sectores económicos y sector residencial, así como los diferentes usos de la energía y tipos de energía. Los resultados muestran que se tendrá un requerimiento importante de energía durante dicho período. La demanda de energía total por escenarios crece desde 15869 GWa en el año 2005 hasta 42665, 47704 y 54926 GWa en el 2030 para los escenarios de demanda baja, media y alta, respectivamente, lo cual indica que en año 2030 se necesitará tres veces más de energía que la consumida en el año 2005. Los combustibles más utilizados son el diesel oil, petróleo industrial y la energía eléctrica. Para el escenario referencial los combustibles de mayor consumo son el diesel oil que se incrementa de 4.15 GWa en el año 2005 a 10.47 GWa para el año 2030, la energía eléctrica de 2.67 GWa en el 2005 a 9.26 GWa para el 2030 y el petróleo industrial de 1.65 GWa en el 2005 a 7.0 GWa para el 2030.

### Abstract

It is presented the national projection of energy demand since 2010 until 2030, it has gotten by using MAED model, in the context of improvement of capacities for sustainable energy systems development (RLA/0/040), under the auspices and financially support of International Atomic Energy Agency (IAEA). It has been considered three sceneries called low, medium, and high for economic sectors and residential sector, as well for the different use of the energy and types of energy sources. The results shown that it will be needed an important requirement of energy during such period. The total energy demand for each sceneries increase from 15869 GWa in 2005 to 42665, 47704 and 54926 GWa in 2030 for low, medium and high sceneries respectively, that indicates that in 2030 will be needed three times more of the energy consumed in 2005. The fuels more used are diesel oil, industrial petroleum and electrical energy. For referential scenery the most consumed fuels are diesel oil that increases from 4.15GWa in 2005 to 10.47GWa for 2030 year, electric energy from 2.67GWa in 2005 to 9.26 for 2030 year and industrial petroleum from 1.65GWa in 2005 to 7.0GWa for 2030 year.

## 1. Introducción

El ser humano a lo largo de su historia evolutiva ha realizado actividades que demanda el consumo de energía, primero en base a su propio esfuerzo físico, luego apoyado en los animales domésticos y finalmente utilizando fuentes energéticas naturales, siendo la leña la primera en ser usada hasta el día de hoy.

Con la revolución industrial aparecieron nuevas demandas de energía para otros usos como el transporte, la calefacción, la

generación de electricidad, etc. Asimismo, la segunda guerra mundial también generó una gran demanda de energía. Según la “Energy Information Administration” de EE.UU. (EIA, 2007), el requerimiento de energía crece aceleradamente y esa tendencia continuará en el futuro.

En el año 2007 la demanda fue de 495 cuatrillones de BTU y el año 2035 será de 739 cuatrillones de BTU, es decir la demanda de energía se incrementará en un 50% [1].

---

\* Correspondencia autor: javila@ipen.gob.pe

Ante esta realidad mundial y con la denominada globalización, el Perú también está inmerso en la necesidad de requerimiento de energía para su desarrollo, y por consiguiente es necesario visualizar la demanda de energía con la finalidad de prever el suministro con las alternativas energéticas más competitivas, desde el punto de vista de la seguridad del servicio, más económica y amigable con el medioambiente.

Este estudio involucra la demanda de energía proyectada a nivel nacional para el período 2010-2030, tomando en cuenta la demanda histórica de los años 2005 al 2009. Se ha considerado las fuentes energéticas agotables, renovables, las de uso comercial actual. Para el estudio se ha utilizado el “Model for Analysis Energy Demand” (MAED) [2].

## 2. Método

En el presente trabajo se tipifica como cuasi-experimental, cuyo método consiste en recolectar datos de consumos de combustibles por sectores económicos y residenciales, y en base a los modelos matemáticos estructurados mediante algoritmos para computadora se procesa y proyecta la demanda futura de energía.

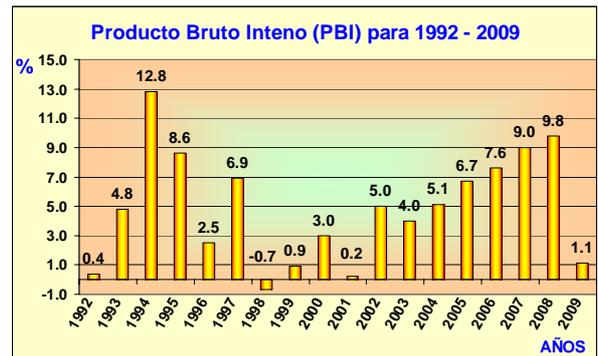
El crecimiento económico histórico del país es fundamental para la proyección de la demanda de energía, por la relación inherente entre crecimiento económico y consumo de energía. En este trabajo se ha considerado el Producto Bruto Interno (PBI) del período 2005–2009 para proyectar el crecimiento económico para el período 2010-2030.

Los datos correspondientes al consumo de energía se han tomado del año 2005, con la finalidad de comparar resultados con otros países que también han tomado ese año como base. Los datos recolectados son consumos totales de combustibles consumidos por cada sector económico y por el sector residencial urbano y residencial rural, consolidado en el llamado balance nacional de energía [3].

En la proyección de la demanda de energía mediante el modelo MAED para el período 2010-2030 se ha utilizado datos del producto bruto interno (PBI) y la población actual y proyectada proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) [4].

### 2.1. Producto Bruto Interno

El PBI nacional se encuentra entre los primeros lugares de crecimiento de América Latina. En la figura 1 se muestra la evolución para el período 1992–2009, observándose un crecimiento alto con una caída a 1.1 % en el año 2009 debido a la crisis económica internacional; sin embargo, la economía peruana en diciembre del 2009 mostró recuperación con un valor de 6.4 % de crecimiento [5].



**Figura 1.** Crecimiento del PBI para el período 1992–2009.

### 2.2. Recursos Energéticos

Las reservas probadas de energía comercial al 31-12-2005 fue de 25 880 995 TJ. Las reservas para los recursos energéticos más importantes fueron:

#### 2.2.1 Gas Natural

Las reservas probadas de gas natural a diciembre de 2005 representan el mayor porcentaje en términos energéticos (45%), alcanzando los  $337,8 \times 10^9 \text{ m}^3$  ( $11,93 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ ), de las cuales  $317,15 \times 10^9 \text{ m}^3$  ( $11,2 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ ) corresponden a los yacimientos de Camisea y Pagoreni, las reservas probadas de líquidos de gas natural fueron del orden de  $110,55 \times 10^6 \text{ m}^3$  ( $695,392 \times 10^6 \text{ bbl}$ ) [3].

#### 2.2.2. Hidroenergía

Las reservas probadas de hidroenergía totalizan  $1,3 \times 10^6 \text{ GWh}$  [3].

#### 2.2.3. Petróleo crudo

Las reservas probadas de petróleo crudo a fines de 2005 fue del orden de  $60,31 \times 10^6 \text{ m}^3$  ( $379,32 \times 10^6 \text{ bbl}$ ) [3]. Con los niveles actuales de cargas de petróleo crudo a las refinerías del país, estas reservas pueden satisfacer la demanda interna hasta el año 2013.

2.2.4. *Carbón mineral*

Las reservas probadas de carbón mineral a fines de 2005 estuvieron cercanas a  $49,9 \times 10^6$  ton correspondiendo en un 97% de carbón al tipo antracita y el resto a carbón bituminoso [3]. La región Lima posee las mayores reservas de carbón existentes, con alrededor del 87% del total nacional.

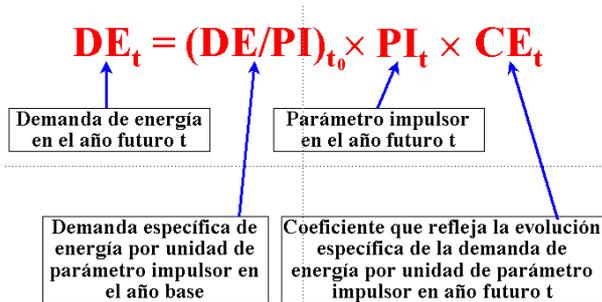
2.2.5. *Uranio*

Las reservas probadas de uranio son del orden de 3 850 ton y están localizadas en la parte noroccidental del área de distribución de los volcánicos de la formación Quenamari, distrito de Corani, provincia de Carabaya, región Puno. Tales reservas fueron obtenidas mediante el “prospecto uranífero Chapi” entre 1984 – 1986 y confirmadas mediante el inventario de reservas probadas de 1989, después de esa fecha no se realizaron más actividades exploratorias.

2.3. *Modelo MAED*

El modelo MAED es una herramienta computacional que permite realizar estudios para escenarios de análisis de demanda de energía, en el contexto de desarrollo socio-económico, poblacional, tecnológico, y demográfico a mediano y largo plazo.

El modelo MAED se basa en el método de escenarios, cuyo objetivo es evaluar la demanda futura de energía. La ecuación genérica para el cálculo de la demanda de energía proyectada se muestra de modo explícito en la siguiente fórmula:



2.4. *Escenarios económicos*

En esta fase del estudio se ha considerado los crecimientos económicos para los escenarios alto, medio y bajo. Los escenarios del PBI recogen la tendencia del crecimiento para el período 2005–2009 y consideran la implantación de las políticas de gobierno con la apertura a la inversión privada y los tratados

de libre comercio. En la figura 3 se muestra los escenarios considerados para el PBI y utilizados para este estudio. En el escenario bajo, el PBI varía desde 67,614 mil millones de dólares en el año 2005 hasta 203,012 mil millones de dólares en el 2030. El escenario medio tiene un crecimiento desde 67.614 mil millones dólares hasta 251,199 mil millones de dólares y el escenario alto crece desde 67,614 mil millones dólares hasta 320,265 mil millones de dólares (dólares de 1994).

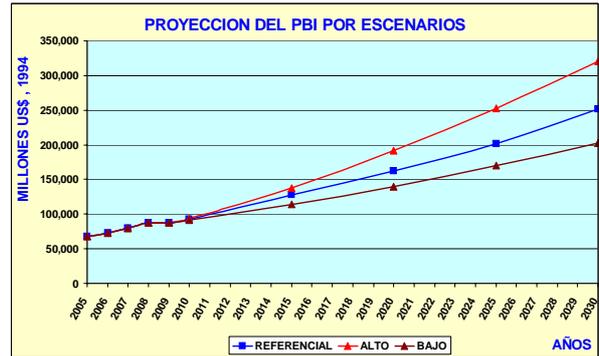


Figura 2. Escenarios del producto bruto interno proyectados para el período 2005-2030.

3. **Resultados y Discusión**

3.1. *Resultados*

Los resultados se muestran para los tres escenarios de crecimiento económico del país, crecimiento alto, referencial y bajo. Asimismo, se presentan por sectores donde se visualizan la necesidad de energía en cada sector en función del crecimiento económico del país.

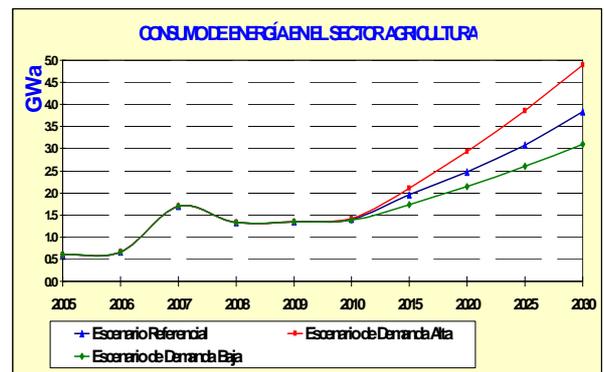
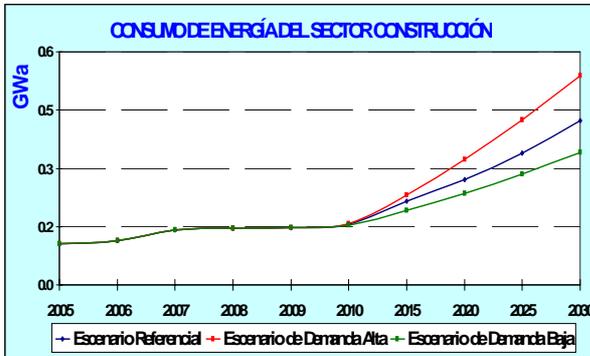


Figura 3. Demanda de energía por el sector agricultura.

En la figura 3 se muestra la demanda de energía en el sector agricultura. Se observa un crecimiento desde 0.617 GWh en el año 2005 hasta 3.101, 3.837 y 4.892 GWh en el 2030 para los escenarios de demanda baja,

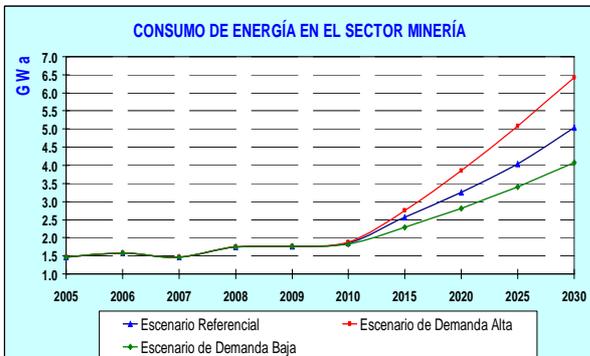
referencial y alto, respectivamente.

En la figura 4 se muestra la demanda de energía por el sector construcción, donde se observa un crecimiento desde 0.106 GWa en el año 2005 hasta 0.341, 0.422 y 0.538 GWa en el 2030 para los escenarios de demanda baja, referencial y alto, respectivamente.



**Figura 4.** Demanda de energía por el sector construcción.

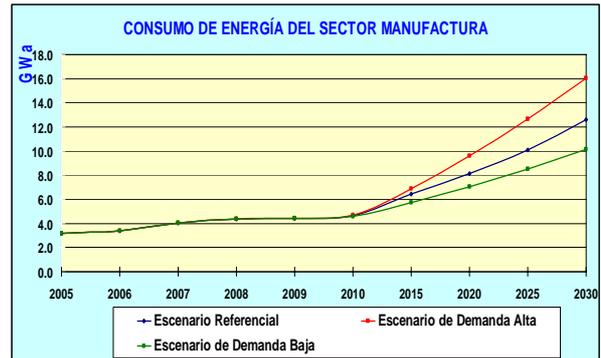
En la figura 5 se muestra la demanda de energía para el sector minería, donde se observa un crecimiento desde 1.466 GWa en el año 2005 hasta 4.073, 5.040 y 6.426 GWa en el 2030 para los escenarios de demanda baja, referencial y alto, respectivamente.



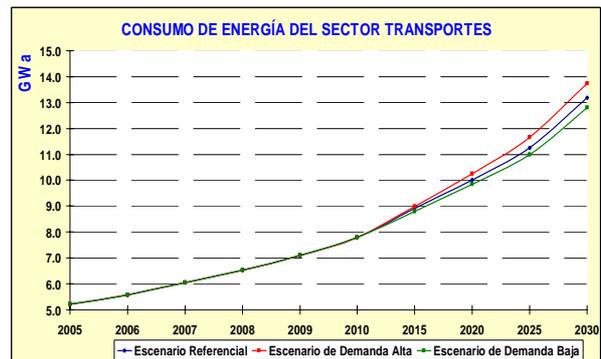
**Figura 5.** Demanda de energía por el sector minería.

En la figura 6 se muestra la demanda de energía para el sector manufactura, donde se observa que los escenarios crecen desde 3.150 GWa en el año 2005 hasta 10.17, 12.57 y 16.02 GWa en el 2030 en los escenarios de demanda baja, referencial y alto, respectivamente.

En la figura 7 se muestra la demanda de energía para el sector transporte, donde se observa que los escenarios crecen desde 5.212 GWa en el año 2005 hasta 12.799, 13.185 y 13.739 GWa en el 2030 en los escenarios de demanda baja, referencial y alto, respectivamente.

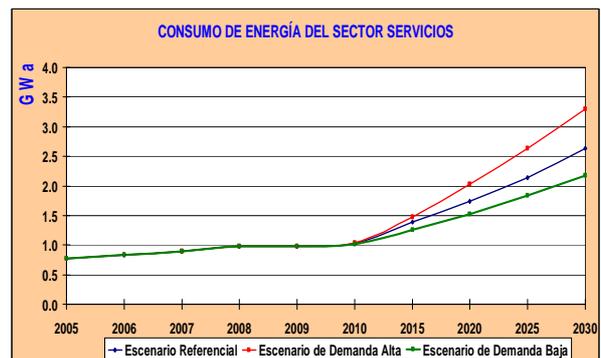


**Figura 6.** Demanda de energía por el sector manufactura.



**Figura 7.** Demanda de energía por el sector transporte.

En la figura 8 muestra la demanda de energía para el sector servicios, donde se aprecia un crecimiento desde 0.776 GWa en el año 2005, hasta 2.175, 2.639 y 3.303 GWa en el 2030 para los escenarios de demanda baja, referencial y alto, respectivamente.



**Figura 8.** Demanda de energía por el sector Servicios.

En la figura 9 se muestra la demanda de energía para el sector residencial, se observa que el sector residencial rural demandará energía desde 1.954 GWa en el año 2005 hasta 3.852 GWa en el 2030 y el sector residencial urbano demandará energía desde 2.584 GWa en el año 2005 hasta 6.155 GWa en el año 2030, la demandada total de energía

por el sector residencial será de 4.537 GWh en el 2005 a 10.006 GWh en el 2030.



Figura 9. Demanda de energía por el sector Residencial.

En la figura 10 se muestra la demanda de energía total por escenarios, se observa que los escenarios crecen desde 15.869 GWh en el año 2005 hasta 42.665, 47.704 y 54.926 GWh en el 2030 para los escenarios de demanda baja, referencial y alta, respectivamente.

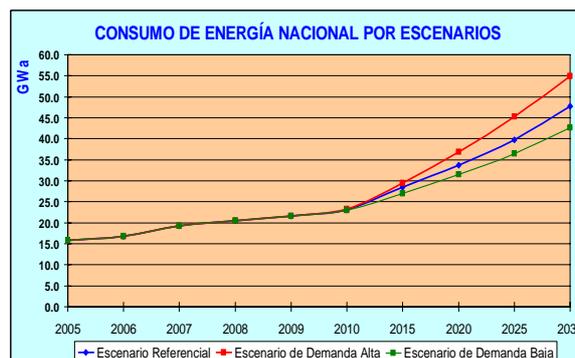


Figura 10. Demanda de energía por escenarios alto, referencial y bajo.

En la tabla 1 se muestra la proyección total de combustibles para el escenario referencial proyectado con el modelo MAED. Se observa que la demanda de diesel oil es la más elevada y se incrementa de 4140 MWa a 10467 MWa, seguido por la electricidad de 2665 MWa a 9264 MWa. El total de energía requerida es de 15331 MWa en el 2005 a 45861 MWa en el 2030, es decir se incrementará la demanda de energía en un 300 %.

Tabla 1. Demanda de combustibles proyectados con modelo MAED.

Año	DO	PI	KE	GM	GLP	GI	GD	CM	CQ	CV	LE	BG	BY	Solar	EE	Total
2005	4148	1651	262	1345	986	47	187	699	78	87	2596	190	328	62	2665	15331
2006	4438	1733	265	1496	1022	50	203	737	77	96	2616	267	333	65	2854	16254
2007	4766	2410	285	1626	1163	60	283	873	79	103	2935	567	364	69	3140	18722
2008	5137	2412	308	1790	1279	66	325	950	82	112	3094	267	393	76	3427	19717
2009	5445	2436	326	1945	1250	66	508	959	82	118	3337	267	425	81	3511	20758
2010	5842	2558	362	2131	1389	70	583	1007	85	126	3576	459	448	88	3721	22446
2015	6846	3553	445	2356	1901	97	791	1398	103	151	3917	359	497	109	4899	27421
2020	7834	4482	512	2592	2492	122	906	1764	120	177	4333	452	548	130	6105	32571
2025	8922	5585	524	2806	2702	152	1508	2198	141	364	4635	564	565	158	7540	38363
2030	10467	6960	644	3208	3087	189	2065	2740	167	411	5144	702	625	188	9264	45861

### 3.2. Discusión

De los resultados encontrados se desprende que el Perú continuará dependiendo de los combustibles de origen fósil, particularmente del diesel oil; en consecuencia, es necesario tomar las medidas necesarias para diversificar la matriz energética y no depender de recursos de alta volatilidad en precios.

La energía eléctrica es otro recurso que se proyecta en una alta tasa de demanda, se incrementará en un factor de 3.5 en el año 2030 respecto de la demanda del año 2005, lo cual implica considerar diversas alternativas de generación eléctrica para garantizar el servicio.

La proyección de la demanda de energía se basa en el crecimiento del producto bruto interno del país y las perspectivas de crecimiento del PBI son relativamente altas en un promedio de 5 % para los 20 años siguientes, lo cual implica la prevención en el suministro de energía para soportar el desarrollo.

### 4. Conclusiones

Los resultados en el estudio de demanda para el período 2005-2030 nos indican que se requiere en promedio triplicar la cantidad de energía utilizada en el año 2005.

La demanda total de energía para el escenario referencial (más probable) es de 15869 GWh en el año 2005 a 47704 GWh en el año 2030, es decir se tendrá un crecimiento del 300%, razón por la cual es necesario considerar nuevas fuentes energéticas, nuevas tecnologías más eficientes, diversificando el uso de los recursos energéticos y considerando la implicancia en el medioambiente para alcanzar un desarrollo sostenible.

Para satisfacer la demanda de energía es necesario realizar el estudio de suministro de energía, con la finalidad de evaluar las alternativas más óptimas.

### 5. Agradecimientos

A las siguientes instituciones que han colaborado con información: MINEM, OSINERGMIN, PETROPERU, COES y el INEI. Asimismo, a las autoridades del IPEN por las facilidades brindadas para realizar el presente estudio.

### 6. Bibliografía

- [1] Energy Information Administration (EIA). International Energy Outlook 2010. DOE/EIA-0484(2010).
- [2] International Atomic Energy Agency. Model for Analysis of Energy Demand (MAED). Planning and Economic Studies Section. Vienna: IAEA; 2006.
- [3] Ministerio de Energía y Minas. Balance Nacional de Energía. Oficina de Planeamiento y Política Sectorial (OPPS). Lima: MEM; 2007.
- [4] Ministerio de Energía y Minas. Plan Referencial de Energía al 2015. Oficina de Planeamiento y Política Sectorial (OPPS). Lima: MEM; 2007.
- [5] Instituto Nacional de Estadística e Informática. Compendio estadístico 2006. Sistema Estadístico Nacional. Lima: INEN; 2007. Disponible en: <http://www.inei.gob.pe>.

## Tratamiento de líquidos lixiviados conteniendo uranio

Genaro Rodríguez<sup>1,\*</sup>, Álvaro Aguirre<sup>1</sup>, Tommy Pretel<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Planta de Gestión de Residuos Radiactivos, IPEN  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Química y Textil, UNI

### Resumen

Se presenta los resultados de la gestión conjunta (IPEN, SOLEX de Perú y SGS) sobre el tratamiento de residuos radiactivos localizado en la ciudad de Juliaca, Puno, para resolver el problema sobre un producto lixiviado formado por la reacción de ácido sulfúrico diluido con el mineral que contiene uranio. Como resultado de la recuperación, en diferentes tamaños, de granos de mineral de uranio estamos en condiciones de intervenir en el destino del lixiviado ácido formado. Asimismo, debido a que el lixiviado tenía un volumen total de 13 m<sup>3</sup> se decidió realizar el proceso en el mismo lugar. El tratamiento consistió en la separación por neutralización alcalina en dos fases, una líquida y otra sólida que contiene principalmente el uranio y otros metales asociados. Los resultados del tratamiento permitirán decidir el tipo de disposición final de los residuos sólidos y líquidos que están de acuerdo con las regulaciones de la protección radiológica y los parámetros ambientales actuales.

### Abstract

This work presents the results of the radioactive waste treatment made by IPEN, SOLEX and SGS in Juliaca, Puno. The main goal was to solve a problem involving a leached product generated by the reaction of diluted sulfuric acid with uranium mineral. As a result of the recovery of uranium mineral in different grain sizes, it was possible to manage the disposal of the generated acid leachate. As the total volume of the leachate was 13 m<sup>3</sup>, the process was made in the same place. The treatment consisted in the separation by alkaline neutralization in two phases: one liquid and the other one solid, which contained mainly the uranium and other associated metals. The results of the treatment will help to choose the type of final disposal of the liquid and solid wastes, according to the regulations of radiological protection and the current environmental recommendations.

### 1. Objetivo

Desarrollar el proceso de precipitación de lixiviados conteniendo uranio, considerando las medidas de seguridad y protección radiológica.

### 2. Introducción

Debido a la importancia del uranio como combustible nuclear, la búsqueda de potenciales yacimientos se ha incrementado en los últimos años, y nuestro país no está ajeno a ese interés. La experiencia ganada por el IPEN que permitió el descubrimiento de importantes zonas uraníferas como Macusani (Puno), ha sido retomada por iniciativas privadas. Luego de una fase de evaluación técnica económica, se deben definir las áreas de explotación y obtención por tratamiento físico químico para su comercialización como *yellow cake* (Pasta amarilla).

El uranio se encuentra en la corteza terrestre formando minerales radiactivos conjuntamente con metales asociados y acompañado del torio, otro elemento que presenta radiactividad y que es empleado también como combustible nuclear. En la Tabla 1 se muestra algunas propiedades de los radioisótopos que presenta uranio en la naturaleza. Debido a que los radioisótopos de uranio tienen períodos de semidesintegración muy alto, sus actividades específicas se pueden considerar como constantes.

El IPEN en la década de los años 80 disponía de laboratorios para la preparación física, análisis químico e instrumental y de hidrometalurgia de uranio habiendo obtenido

---

\* Correspondencia autor: grodriguez@ipen.gob.pe

el  $U_3O_8$ .

**Tabla 1.** Características del uranio [1].

Nucleído	Vida media (años)	%A	Actividad específica promedio (Bq/g)
U-234	$2.48 \times 10^5$	0.0055	$6.2 \times 10^{-3}$
U-235	$7 \times 10^8$	0.72	$2.2 \times 10^{-6}$
U-238	$4.5 \times 10^9$	99.27	$3.3 \times 10^{-7}$

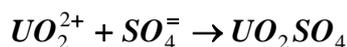
%A = porcentaje de abundancia natural promedio

En las actuales labores de evaluación técnica de SOLEX y SGS (año 2009), se llegó hasta la formación del lixiviado de uranio. En los trabajos analíticos para el tratamiento de los lixiviados, el IPEN participó con los análisis radioquímicos, mientras que los análisis químicos convencionales fueron asumidos por SGS.

### 3. Descripción del proceso de neutralización y precipitación de uranio

La materia prima extraída fue llevada al Laboratorio de Hidrometalurgia instalado en Juliaca para la evaluación técnica. El mineral ha sido tratado mediante lixiviación por medio de soluciones diluidas de ácido sulfúrico en columnas de PVC de 40 cm de diámetro por 189 cm de altura, los residuos sólidos denominados “colas de mineral” se separaron para análisis y el líquido resultante es el denominado “líquido lixiviado”.

La reacción asumida, tomando en cuenta los componentes utilizados sin agentes oxidantes, es la formación del sulfato de uranio ( $UO_2SO_4$ ), debido a la solubilidad que muestra el  $UO_2^{+2}$  en estas condiciones, también se generan otras reacciones en el medio ácido, principalmente de metales asociados que se suman en los trece (13)  $m^3$  de lixiviados, la reacción principal se resume en:



La composición del lixiviado ácido conteniendo uranio se analizó en forma química y radioquímica. En el caso del precipitado concentrado y secado, el reporte de análisis indica un porcentaje importante de uranio y como elementos asociados el níquel, plomo, talio, wolframio, mercurio, arsénico,

zinc y titanio, en concentraciones de partes por millón (ppm).

En ese sentido, hacía octubre de 2009 [2] se planteó la necesidad de gestionar como residuos radiactivos los 13  $m^3$  de lixiviados. La propuesta técnica fue su neutralización por medio de una solución alcalina de hidróxido de sodio, a modo de elevar desde un promedio pH 1,3 hasta un pH mayor a 8 que permita precipitar el uranio y los metales asociados. A un pH alcalino se halla la formación de los hidróxidos básicos de los metales presentes. La neutralización fue realizada tal como fueron almacenados los lixiviados, 13 tanques de PVC de un 1  $m^3$  cada uno.

Para establecer las cantidades que deben ser usadas en cada tanque, se procedió a experimentar un ensayo de precipitado en una solución de 64 litros utilizando hidróxido de sodio, cloruro de bario y agente floculante, que se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Ensayos y resultados de precipitación del lixiviado [2].

Fecha	02 octubre 2009
Cantidad de líquidos	64 L
pH inicial	1,35
pH final	8,04
BaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	08 g
NaOH	490 g en 5,9 L
Floculante	0,5 g disuelto en 1 L de agua
Peso total de la solución al inicio	71,22 kg
Peso de solución sobrenadante	65,76 kg
Peso seco del precipitado	157,2 g
Temperatura de secado del precipitado	80 °C
Composición antes de la neutralización	144,81 mg/L de uranio
Concentración de la solución en el líquido sobrenadante neutralizado	0,31 mg/L de uranio

Una vez realizado el ensayo se procedió con los trabajos de precipitación en cada tanque, formándose por decantación dos fases, un lodo precipitado en el fondo del tanque y un líquido sobrenadante alcalino descontaminado de componentes uraníferos y metálicos.

Un tanque pulmón fue utilizado como soporte para ayudar a los tanques de precipitación. En las figuras 1,2,3 y 4 se muestra la secuencia de las actividades realizadas y en la figura 5 el diagrama para la neutralización de los lixiviados.



**Figura 1.** Tanques de lixiviados.



**Figura 2.** Tanque pulmón.



**Figura 3.** Lodos precipitados.



**Figura 4.** Horno de secado.

Como complemento a la operación de neutralización se realizó un monitoreo de la radiación, sobre cada uno de los tanques en la formación de las fases utilizando un detector de radiación marca Polymaster PM 140K. Este monitoreo tiene relevancia y nos da información sobre la presencia de contaminantes radiactivos. El registro se muestra en la Tabla 3.

La radiación de fondo natural fue: Actividad

total  $\alpha\beta\gamma$  de  $0,78 \text{ s}^{-1}$  y una tasa de exposición de  $0,20 \mu\text{Sv/h}$ .

Luego del secado, el precipitado sólido acumulado en los 13 tanques alcanzó un peso de 46 kg con un contenido de 3.35% en peso de uranio, los mismos que fueron gestionados como residuos sólidos radiactivos. Asimismo, quedó pendiente la definición del destino de los residuos líquidos sobrenadantes.

**Tabla 3.** Monitoreo de la radiación en los tanques durante la neutralización [2].

<i>N°</i>	<i>pH</i>	<i>Actividad <math>\alpha\beta\gamma(\text{s}^{-1})</math></i>	<i><math>X_{\text{contacto}}</math> (<math>\mu\text{Sv/h}</math>)</i>	<i>Estado</i>
1	Ac.	1.02	0.35	A
2	Ac.	0.99	0.34	A
3	Ac.	1.1	0.33	A
4	Al.	1.06	0.33	D
5	Al.	0.89	0.31	D
6	Al.	0.88	0.31	D
7	Al.	0.87	0.31	D
8	Al.	0.87	0.31	D
9	Al.	0.82	0.31	D
10	Al.	0.82	0.30	S. P.
11	Al.	0.81	0.30	S. S.
12	Al.	0.81	0.27	S. S.
13	Al.	0.80	0.27	S. S.

Ac. = pH ácido

Al. = pH alcalino

Estado del tratamiento

A = Aireación

D = Decantación

S. P. = Solo precipitados (tanque pulmón)

S. S. = Solo sobrenadantes

#### 4. Resultados

Se realizaron análisis a la parte radioquímica referida a los radioisótopos presentes en el líquido sobrenadante, obtenido por la neutralización alcalina. Los resultados contribuyeron sustancialmente a la evaluación del proceso.

El reporte del resultado proviene del Laboratorio de Control Ambiental del IPEN. En la Tabla 4 se muestran los resultados de los análisis radioquímicos en el líquido sobrenadante, en términos de concentración de actividad por volumen de la composición isotópica.

El registro del Radio-226 es indispensable en un análisis radioquímico en aguas. Este es un componente tóxico en la cadena radiactiva del uranio y su período de vida media es largo emitiendo radiaciones alfa, decae en el

gas radón-222, que es un contribuyente nocivo en el medioambiente.

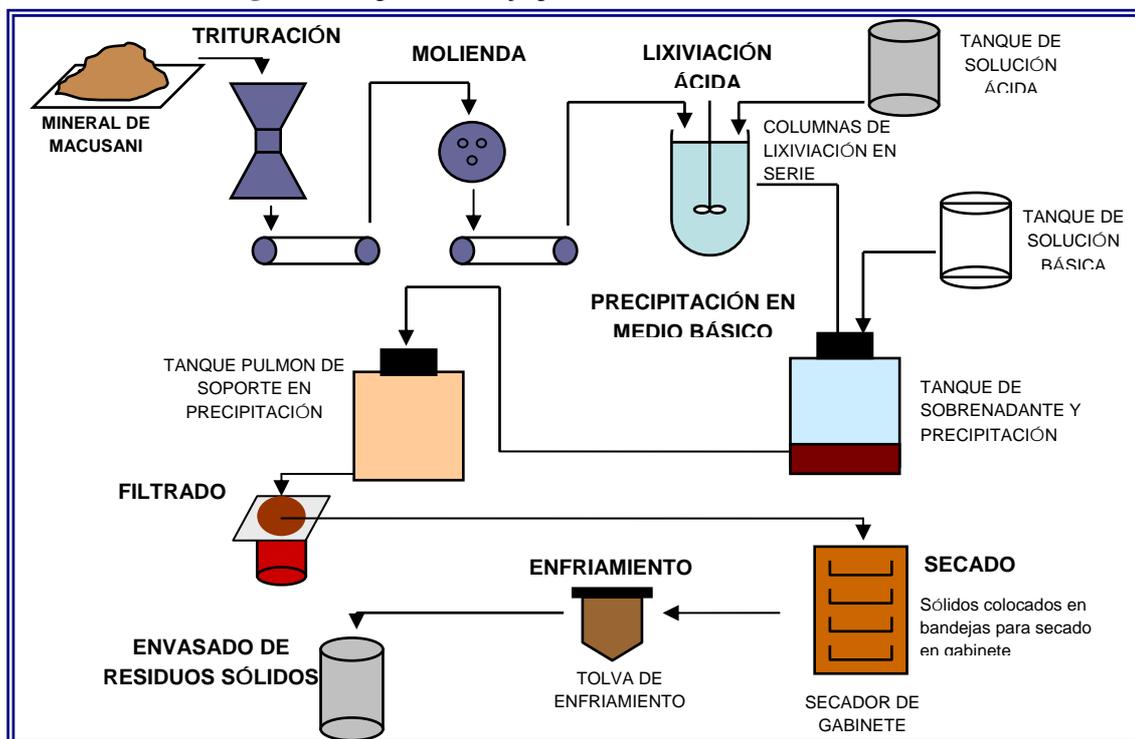
**Tabla 4.** Resultado de análisis radioquímico en el líquido sobrenadante [3].

N°	Isótopo radiactivo	Actividad promedio (Bq/L)	AMD (95%) (Bq/L)
1	Ra-226	<AMD	1
2	U-238	<AMD	4
3	U-235	<AMD	1
4	U-234	<AMD	3
5	Th-234	1050	4

AMD = Actividad mínima detectable

Contrastando los valores con el que establece el Reglamento de Protección Radiológica (DS 09-97-EM), podemos señalar que los valores alcanzados están por debajo de las concentraciones exentas, por ende podemos considerar que la precipitación para los fines de la separación de la concentración de uranio ha sido realizada apropiadamente.

**Figura 5.** Diagrama de flujo para la neutralización de lixiviados.



## 5. Evaluación

Mediante el procedimiento seguido se logró alcanzar los objetivos de la separación del uranio del líquido lixiviado, a un nivel donde el sobrenadante es considerado exento, por lo que puede ser descargado al ambiente sin otro requisito que el recomendado para las operaciones metalúrgicas, en ese sentido también los valores hallados para los metales asociados están por debajo de las concentraciones máximas exigibles por la norma ambiental del Ministerio de Energía y Minas (R.M. N° 011-96 EM/VMM). Con respecto al análisis radioquímico del Torio-234, si comparamos su actividad de 1050 Bq/L con el límite de exención señalado

en el Reglamento de Seguridad Radiológica [4] que indica 1.0 E+06 Bq/L (1.0 E+03 Bq/g), el valor hallado para el Torio-234 es 1000 veces menos de la cantidad exenta, y sumado su vida media corta de 24 días, no implica riesgos desde el punto de vista radiológico.

## 6. Conclusiones

Las operaciones concernientes a la minería de uranio desde la exploración hasta la obtención del concentrado de mineral en el Perú deben estar debidamente reglamentadas y normadas tanto para las operaciones de

campo como a nivel de planta piloto.

Los residuos radiactivos generados tanto sólidos como líquidos tiene que ser previamente tratados y resuelto su aislamiento del medio circundante, aplicando las tecnologías seguras de protección pública y ambiental.

Las condiciones desarrolladas a un nivel bajo en volumen y residuos, permiten extraer conclusiones aún limitadas de lo que implica un tratamiento a mayor escala de los minerales radiactivos. A un nivel mayor de explotación y obtención del uranio, la presencia de los radionucleidos pueden adoptar valores mucho más significativos que ameritan un permanente monitoreo y tratamiento.

## 7. Referencias

- [1] Characteristics of Uranium and Its Compounds, Depleted Uranium Hexafluoride Management Program, U.S. Department of Energy Office of Environmental Management.
- [2] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Supervisión radiológica en la precipitación química de lixiviados conteniendo uranio. Informe PGR; 2009.
- [3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Ensayo de Radiactividad 0011-2010-SERV. Lima; 2010.
- [4] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de Protección Radiológica. OTAN-IPEN. Lima, Perú; 1997.

## Determinación de parámetros hidrodinámicos en el río Chillón utilizando trazadores salinos y el software RTD

José Maguiña\*, Enoc Mamani, Gerardo Maghella, Jorge Condori  
 División de Ingeniería e Hidrología, Instituto Peruano de Energía Nuclear,  
 Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

El presente estudio tuvo como finalidad la determinación de parámetros hidráulicos como velocidad, caudal, tiempo de tránsito, Número de Peclet y coeficiente de dispersión en el río Chillón, utilizando una sal de Cloruro de Sodio (NaCl) como trazador.

### Abstract

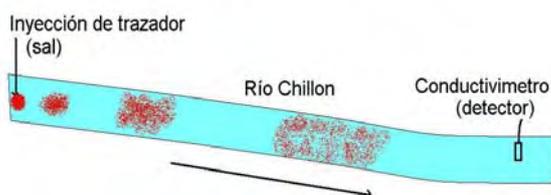
This report shows how to determine hydraulic parameters such as speed, flow, transit time, Peclet number and dispersion coefficient in Chillón River, by using a salt as a tracer.

## 1. Introducción

Para la determinación de los parámetros hidráulicos en ríos, el único método utilizado es mediante el empleo de trazadores, estos pueden inyectarse de manera instantánea mediante la técnica de estímulo-respuesta. Los trazadores más utilizados en ríos son: trazadores estables (colorantes, sales químicas, etc.), trazadores radiactivos (radiotrazadores) y los trazadores activables (compuestos estables que se añaden al sistema y que luego son transformados en radiactivos en los reactores nucleares). Para este estudio empleamos sal como trazador y un conductivímetro como equipo de detección.

La inyección de trazador es instantánea y se realiza teniendo en cuenta la detectabilidad con el conductivímetro en el punto de detección, mientras que la determinación de parámetros hidrodinámicos se realiza mediante el software RTD.

### Disposición de inyección y detección



**Figura 1.** Disposición del detector (conductivímetro).

## 2. Desarrollo experimental

### 2.1 Materiales y equipos

- Conductivímetro.
- Sistema de inyección instantánea. (solución salina en balde de 30 litros)
- Sal de NaCl (3.5 kg).
- Materiales: Guantes, botas de jebe.
- Otros: Baldes, cinta métrica de 100 metros, cronómetro, etc.

### 2.2 Metodología

- Se inspecciona el río para ubicar los puntos de inyección y detección seguros. (Figura 1).
- Se calcula previamente la cantidad de sal (trazador) que será inyectada en el río, empleando como referencia una curva de calibración previamente realizada con el conductivímetro (Figura 2).
- Se instala el conductivímetro en el punto de detección ya prefijado aguas abajo y se procede a la inyección de la solución salina.
- Se miden los datos de conductividad del paso del trazador por el punto de detección.
- Se procesan los resultados para calcular el tiempo de tránsito y el caudal.
- Para hallar los parámetros hidráulicos se modelan los datos en el programa "Residence Time Distribution" (RTD).

\* Correspondencia autor: [jmaguiña@ipen.gob.pe](mailto:jmaguiña@ipen.gob.pe)

### 3. Resultados y Discusión

Para el cálculo de la cantidad de trazador (kg de sal) se empleó la curva de calibración, teniendo en cuenta la Figura 2, para la cual se consideraron los siguientes datos:

- Volumen aproximado del río a marcar:
  - longitud del tramo del río: 150 m
  - ancho del cauce: 6 m
  - profundidad: 0.30 m $V_{\text{río}} = 270 \text{ m}^3$
- Volumen efectivo de marcado =  $(270/3) = 90 \text{ m}^3$  (Considerando 1/3 de la longitud del tramo).
- Lectura máxima estimada: 60 uS/cm que corresponde a una concentración del trazador a usar = 0.038 g/l, donde se seleccionó 3.5 kg de sal. (La concentración fue la mínima detectable).

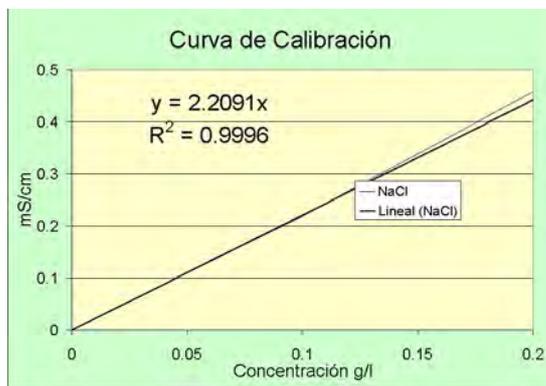


Figura 2. Curva de Calibración de sal.

Al realizar la experiencia se obtuvieron los siguientes datos que se muestran gráficamente en la Figura 3.



Figura 3. Figura obtenida de los datos obtenidos.

Con los datos obtenidos se obtuvieron los siguientes parámetros:

Tiempo de tránsito: 7.07 minutos  
 Velocidad = 0.353 m/segundos

El caudal es calculado mediante el método de integración total, empleando la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{m}{\int C dt} \quad (1)$$

y los valores recalculados se muestran en la siguiente figura, teniendo en cuenta la curva de ajuste de calibración de la Figura 2, se obtiene la Figura 4.

Obteniéndose un caudal de  $0.761 \text{ m}^3/\text{s}$



Figura 4. Transformación a datos de tiempo vs concentración.

Utilizando el software RTD y asumiendo una inyección perfecta de un pulso se obtienen los siguientes parámetros:

Tabla 1. Parámetros hidrodinámicos.

Tiempo de tránsito	7.07 minutos
Velocidad	0.353 m/s
Caudal	$0.761 \text{ m}^3/\text{s}$
Número de Peclet	256
Coef. de dispersión	$0.206 \text{ m}^2/\text{s}$

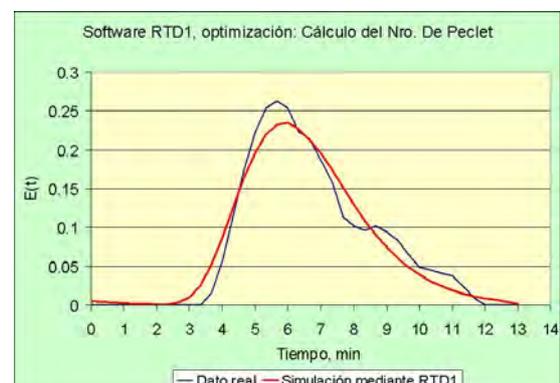


Figura 5. Parámetros obtenidos con ayuda del software RTD.

#### 4. Conclusiones

- El uso de trazadores salinos es una técnica muy útil y económica para la determinación del tiempo de tránsito en ríos.
- El tiempo de tránsito obtenido para el tramo estudiado fue de 7.07 minutos.
- El caudal obtenido mediante el método integración total fue de 0.761 m<sup>3</sup>/s.
- El software de Distribución del Tiempo de Residencia (RTD) nos permite hallar, mediante el modelado, los parámetros hidrodinámicos del sistema en estudio.

#### 5. Referencias

- [1] International Atomic Energy Agency. A manual for the RTD software. Vienna: IAEA.
- [2] International Atomic Energy Agency. Guidebook on radioisotope tracers in industry. Technical Report Series No. 316. Vienna: IAEA; 1990.
- [3] International Atomic Energy Agency. Radiotracer residence time distribution method for industrial and environmental applications. Training Course Series No. 31. Vienna: IAEA; 2008.

## Determinación de parámetros hidrodinámicos en cuerpo de agua superficial utilizando $^{99m}\text{Tc}$ como trazador radiactivo

José Maguiña\*, Enoc Mamani, Jorge Condori

División de Industria e Hidrología, Instituto Peruano de Energía Nuclear,  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

Se presentan los resultados del estudio para la determinación de los parámetros hidrodinámicos en ríos; tales como, velocidad, tiempo de tránsito, Número de Peclet y coeficiente de dispersión, utilizando el  $^{99m}\text{Tc}$  como radiotrazador, el cual se emplea en estudios de cuerpos de aguas superficiales como ríos, arroyos y canales. La inyección del radiotrazador fue instantánea y se realizó en el río Poço de Caldas (Estado de Minas Gerais, Brasil) y la curva de respuesta del radiotrazador fue optimizada con la aplicación del software RTD (Residence Time Distribution).

### Abstract

This report shows hydrodynamic parameters determination in rivers such as velocity, transit time, Peclet Number and dispersion coefficient by using  $^{99m}\text{Tc}$  as radiotracer, which is widely used in surface water studies that don't involve long terms counts, such as rivers, streams and channels. Radiotracer injection was instantaneous and it was performed in Poço de Caldas River (Minas Gerais, Brazil) and the radiotracer response curve was optimized with RTD (Residence Time Distribution) software application.

### 1. Introducción

Los trazadores radioactivos deben representar el comportamiento del cuerpo de agua superficial lótico y tener la forma química que permita su disolución en el agua.

El  $^{99m}\text{Tc}$  es un radionucleído resultante del decaimiento de  $^{99}\text{Mo}$  ( $T_{1/2} = 67$  h,  $\gamma$  de 184 keV y  $\gamma$  de 740 keV) con una vida media de 6,02 horas y una emisión  $\gamma$  de 140 keV. La selección de este trazador se debe a su aceptación y uso masivo en diversos campos como la medicina nuclear; también es barato y de fácil disposición, dado que puede obtenerse a partir de un generador de  $^{99m}\text{Tc}$  o directamente producido en un reactor nuclear.

En el presente estudio se muestra una metodología basada en la inyección de un trazador en un punto determinado en el río Poço de Caldas, ubicado en la Provincia del mismo nombre, en el Estado de Minas Gerais, Brasil[1], los detectores D1 y D2 fueron colocados río abajo, separados por una distancia prudencial 3537 metros, en donde se registraron los datos.

Se empleó el método de inyección instantánea y el cálculo se realizó por dilución empleando 380 mCi de  $^{99m}\text{Tc}$ . [2]

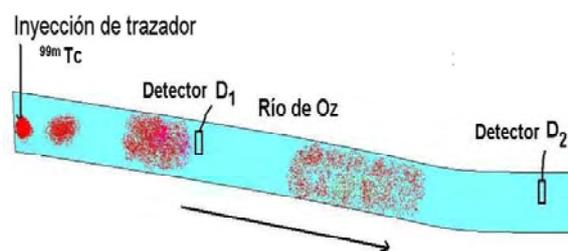


Figura 1. Disposición de inyección y del detector de centelleo.

### 2. Desarrollo experimental

#### 2.1 Materiales y equipos

- Sistema de adquisición de datos marca Minnekin con detector de centelleo de NaI para radiación gamma (Dimensiones 1.5" x 1.5").
- Sistema de inyección.
- Dosímetro personal.
- Monitor de radiación Canberra.
- Equipo de comunicación portátil.
- GPS (Sistema de Posicionamiento Georeferencial).
- Materiales: Guantes, botas de jebe, frasco lavador, papel absorbente.
- Generador de Tecnecio-99m.

\* Correspondencia autor: jmaguiña@ipen.gob.pe

- Rodamina.
- Otros: Baldes, cinta métrica de 100 metros, cronómetro, etc.

## 2.2 Metodología

La metodología consistió en la aplicación de dos trazadores:  $^{99m}\text{Tc}$  (trazador radiactivo) y rodamina (como trazador visual, orgánico), siguiendo los siguientes pasos:

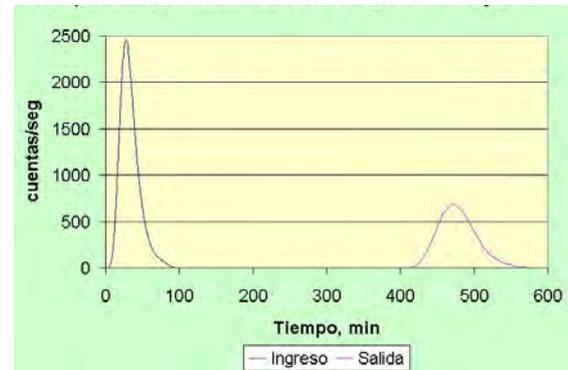
- Se inspeccionó el río para ubicar los puntos de inyección y detección seguros. (Figura 1), y también la toma de muestras de agua.
- Se calculó previamente la cantidad de trazador a utilizar en base a estimaciones de acuerdo con el volumen del río a marcar (teniendo en cuenta el ancho, profundidad, la posición de los detectores y punto de inyección).
- Se definió la logística y los materiales a ser utilizados.
- Se procedió a instalar los detectores de radiación y se fijó un conteo de 1 minuto. Se delimitó el área de inyección y se procedió a la inyección (Figura 2), y aguas más abajo, la medición de la conductividad. Se monitoreó al personal, área y equipos. Para cubrir la eventualidad de un accidente se contaba con un plan de contingencia y la observancia en la aplicación de las normas de protección radiológica.
- Se registraron los datos de la curva del radiotrazador.
- Se procesaron los resultados para calcular el tiempo de tránsito y la velocidad.
- Para hallar los parámetros hidrodinámicos se procesaron los datos en el programa RTD.



**Figura 2.** Preparación e inyección del trazador radiactivo con el orgánico.

## 3. Resultados y Discusión

Al realizar la experiencia se obtuvieron los datos que se muestran gráficamente en la Figura 3.



**Figura 3.** Curva de respuesta de la inyección y detección del radiotrazador.

Los datos iniciales:

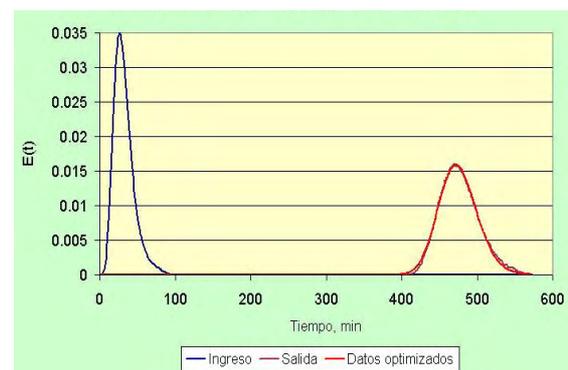
- Distancia entre puntos de medición: 3537 metros.
- Actividad empleada: 380 mCi  $^{99m}\text{Tc}$

Con los datos se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Tiempo de tránsito: 444.6 min (7.4 horas)
- Velocidad = 0.1326 m/s

Con el empleo del software RTD y con los datos de ingreso y salida normalizados, se obtuvieron los siguientes resultados optimizados (Figura 4):

- Número de Peclet = 833
- Coeficiente de dispersión =  $0.563 \text{ m}^2/\text{s}$  [3]



**Figura 4.** Resultados de optimización de la curva de respuesta del radiotrazador según modelo de dispersión axial aplicando el software RTD.

El resumen de los datos de los parámetros hidrodinámicos se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Parámetros hidrodinámicos.

Tiempo de tránsito	444.6 min
Velocidad	0.1326 m/s
Número de Peclet	832.5
Coefficiente de dispersión	0.563 m <sup>2</sup> /s

#### 4. Conclusiones

- El número de Peclet obtenido fue de 833, lo que demuestra que el proceso opera con un comportamiento tipo flujo pistón.
- El uso de trazadores orgánicos y radiactivos permite la obtención de parámetros hidrodinámicos de manera sencilla y exacta.
- Dado el corto tiempo de ejecución del estudio (7,4 h), es posible el uso del Tc-99m como radiotrazador.
- El software RTD proporciona un buen ajuste a la curva de respuesta del radiotrazador.

#### 5. Referencias

- [1] Bandeira JV. Desenvolvimento de técnicas nucleares e correlatas para estudos em hidrologia urbana: Aplicacoes na bacia hidrográfica da Pampulha e no rio das Velhas, MG. [Tesis Doctorado]. Belo Horizonte, Brasil: Universidad Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Sanitaria e Ambiental; 2004.
- [2] International Atomic Energy Agency. Guidebook on nuclear techniques in hidrology. Technical Reports Series No. 91. Vienna: Austria; 1983.
- [3] Singh SK, Beck MB. Dispersion coefficient of streams from tracer experiment data. Journal of Environmental Engineering, ASCE. 2003; 129(6):539-546.

## Medición de caudales y determinación de parámetros hidrodinámicos en tuberías utilizando radiotrazadores y el software RTD

Gerardo Maghella\*, Enoc Mamani, José Maguiña, Jorge Condori

División de Ingeniería e Hidrología, Instituto Peruano de Energía Nuclear,  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

El presente estudio tuvo como finalidad determinar parámetros hidrodinámicos como velocidad, caudal, tiempo de tránsito, Número de Peclet y coeficiente de dispersión en tuberías, siendo estos parámetros importantes para la simulación.

### Abstract

This report shows hydrodynamic parameters determination such as velocity, flow, transit time, Peclet Number and dispersion coefficient in pipes, which are important parameters for simulation purposes.

### 1. Introducción

El empleo de trazadores radiactivos para la determinación de parámetros hidrodinámicos en tuberías tales como el tiempo de tránsito, velocidad, caudal, número de Peclet y coeficiente de dispersión, es fácilmente aplicable porque ofrece una serie de ventajas, tales como:

- La identidad entre el producto marcado y el trazador puede lograrse a nivel atómico.
- Un átomo del trazador o isótopo del trazador radiactivo se comportará igual que un átomo estable del mismo elemento.

Los trazadores radiactivos son detectados y medidos con una alta sensibilidad a través de las paredes de diverso material y equipos, lo que hace posible efectuar mediciones en línea; éstos se utilizan en pequeñas cantidades, de modo que no perturben los procesos, pueden detectarse selectivamente por discriminación del tipo y energía de la radiación emitida cuando el flujo involucra dos o más fases en transporte; no se ven afectados por las variables del proceso como la presión, temperatura, etc. [1,2].

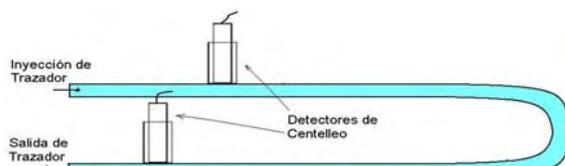


Figura 1. Disposición de detectores.

El trazador utilizado fue el I-131 de 2  $\mu\text{Ci}$  de actividad, debido a que si bien el tiempo de semi desintegración es mayor que el del Tc-99m (8 días vs. 6 horas), por la actividad usada y el tiempo de tránsito previsto del fluido en el sistema, se precisó del radioisótopo más energético. Asimismo, se empleó un sistema de medición que consiste en 02 detectores de Centelleo y la electrónica asociada para la adquisición de datos.

### 2. Desarrollo Experimental

#### 2.1 Materiales y equipos

- Sistema de adquisición de datos con detectores de centelleo de NaI (Figura2).



Figura 2. Sistema de adquisición de datos con sonda.

- Sistema de tubería, de inyección instantánea.
- Dosímetro personal
- Monitor de radiación

\* Correspondencia autor: gmaghella@ipen.gob.pe

- Trazador I-131, 2  $\mu\text{Ci}$
- Materiales: Guantes, jeringas, deslacrador de viales.

## 2.2 Metodología

La metodología se basa en la inyección de un trazador en una tubería donde se ha instalado previamente en la parte externa detectores de radiación (O2), los cuales captan la radiación que emite el radiotrazador a su paso por estos detectores. Esta se mide en cuentas/s.

Los valores considerados para los cálculos son:

- Diámetro de la tubería = 0.016 m
- Longitud de la tubería = 5.14 m
- Volumen de la tubería = 1.033 litros
- Espesor de la tubería = 0.25 cm
- Trazador utilizado = I-131
- Detector = Centelleo 3.81 x 3.81 cm

El método de inyección es instantáneo y el método de cálculo es denominado de dilución. Se siguen los siguientes pasos:

- Se prepara un sistema de tuberías donde pasarán el agua y el trazador I-131 (Fig. 1).
- Se calcula previamente la actividad del trazador a utilizar con los software ECRIN y SPEEDY [3,4].
- Se define previamente la logística y procedimiento a emplear.
- Se procede a realizar la inyección y la medición.
- Se procesan los resultados para calcular el tiempo de tránsito y el caudal.
- Para hallar los parámetros hidrodinámicos se procesan los datos en el software RTD (Residence Time Distribution) [5].

## 3. Resultados y Discusión

Se utilizaron los software ECRIN 2 y SPEEDY para calcular la actividad del trazador, utilizando los datos consignados en el ítem 2.2:

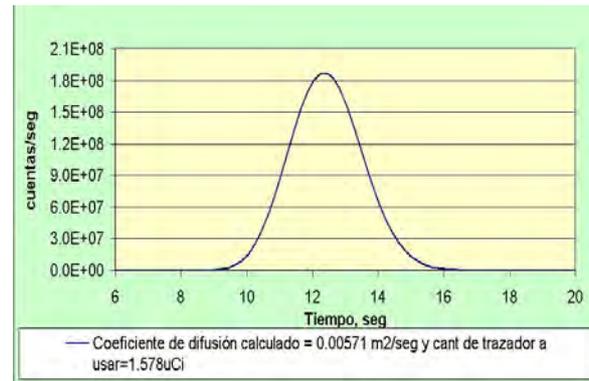
La tasa de contaje obtenida mediante el software ECRIN 2 es:

$$\text{Tasa de contaje} = 41600 \text{ c/s}$$

La actividad obtenida mediante el software SPEEDY es:

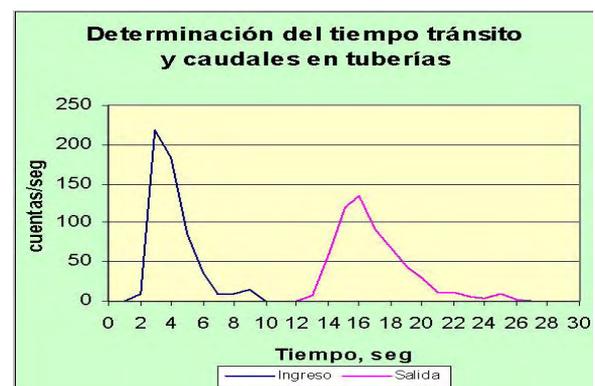
- Actividad utilizada: 1.578  $\mu\text{Ci}$

y se representa en la Figura 3.



**Figura 3.** Curva de la simulación de la actividad de radiotrazador a inyectar utilizando el software SPEEDY.

La curva de respuesta del radiotrazador en el sistema se muestra en la Figura 4.



**Figura 4.** Curva obtenida al paso del radiotrazador por los puntos de detección.

Obteniéndose los siguientes resultados:

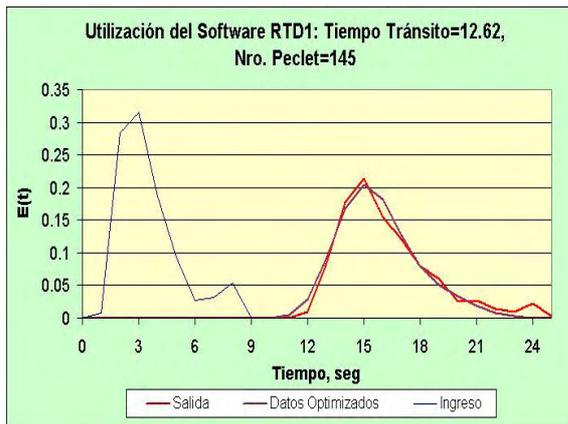
Tiempo de tránsito: 12.62 s

Velocidad = 40.70 cm/s

Caudal = 81.83 ml/s

Utilizando el software RTD, empleando los datos de ingreso y salida, se tiene los siguientes datos optimizados (Figura 5).

- Tiempo de Tránsito = 12.62 s.
- Número de Peclet = 145
- Coeficiente de Dispersión = 0.0144  $\text{m}^2/\text{s}$  que es un valor más real que el obtenido con el software SPEEDY (ideal) de 0.0057  $\text{m}^2/\text{s}$ .



**Figura 5.** Curva optimizada del radiotrazador mediante el empleo del software RTD.

Los parámetros hidrodinámicos obtenidos se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Parámetros hidrodinámicos.

Tiempo de Tránsito	12.62 s
Velocidad	40.70 cm/s
Caudal	81.83 ml/s
Número de Peclet	145
Coefficiente de dispersión	0.0144 m <sup>2</sup> /s

#### 4. Conclusiones

- El tiempo de tránsito obtenido en el sistema de tuberías estudiado es de 12,62 s.
- El número de Peclet obtenido fue de 145, lo que demuestra que el proceso opera con un comportamiento tipo flujo pistón.
- Existen diferencias entre los Coeficientes de Dispersión obtenidos por el software RTD (0,0144 m<sup>2</sup>/s) y SPEEDY (0,0057 m<sup>2</sup>/s) debido al modelado de la curva del fluido en el sistema, considerando el cálculo en condiciones reales relacionados con la dispersión hidrodinámica, caracterizada por la no uniformidad del movimiento de las moléculas del fluido dentro del sistema en estudio, y el Número de Peclet obtenido.
- Los software ECRIN 2 y SPEEDY nos permiten calcular la actividad y la tasa de conteo necesarias del radiotrazador a inyectar.
- El software RTD nos permite realizar el modelado de la curva de respuesta del radiotrazador en un proceso con el fin de

obtener la distribución del tiempo de residencia.

#### 5. Bibliografía

- [1]. International Atomic Energy Agency. Radiotracer technology as applied to industry. IAEA-TECDOC-1262. Vienna: IAEA; 2001.
- [2]. International Atomic Energy Agency. Radiotracer residence time distribution method for industrial and environmental applications. Training Course Series No. 31. Vienna: IAEA; 2008.
- [3]. Software de Aplicación ECRIN 2
- [4]. Software de Aplicación SPEEDY
- [5]. International Atomic Energy Agency. A manual for the RTD software. Vienna: IAEA.

## Determinación del factor de destilación del $^{99m}\text{Tc}$ en una operación de destilación simple

Gerardo Maghella\*, Enoc Mamani, Jorge Condori

División de Ingeniería e Hidrología, Instituto Peruano de Energía Nuclear,  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

El presente estudio tuvo como finalidad evaluar el empleo de Tc-99m como radiotrazador en un proceso de destilación primaria, con el objetivo de obtener datos que reflejen el funcionamiento en un proceso de evaporación para la ejecución de servicios tecnológicos. Con ese propósito se determinó el factor de destilación de una solución de Tc-99m.

### Abstract

This report shows the reliability of employing Tc-99m as radiotracer in a primary distillation process, to refine technological services performing technique. Considering this situation, Tc-99m distillation coefficient in solution was determined.

## 1. Introducción

Ante la posibilidad de ampliar la demanda de servicios en procesos químicos que involucran fases vapor, se consideró necesario experimentar a nivel de laboratorio, si era factible promocionar el uso del  $^{99m}\text{Tc}$  como radiotrazador en operaciones de destilación. Con ese propósito se experimentó un proceso de destilación simple para determinar el factor de destilación del  $^{99m}\text{Tc}$  en un sistema de destilación (Figura 1).

El empleo de radiotrazadores es una técnica que permite determinar varios parámetros en el proceso de operación de diversas unidades[1], debido a la alta sensibilidad de detección de estas sustancias pueden emplearse pequeñas cantidades y ser detectadas *in situ*, y medidas con precisión en el mismo lugar o en el laboratorio.

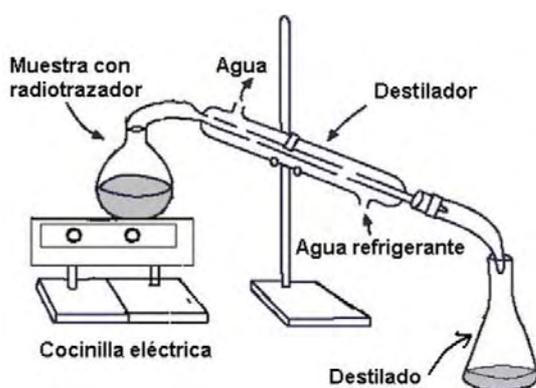


Figura 1. Destilación de una solución de  $^{99m}\text{Tc}$ .

## 2. Desarrollo experimental

### 2.1 Materiales y equipos

- Sistema de adquisición de datos
- Sonda de NaI (centelleo)
- Trazador:  $^{99m}\text{Tc}$  (0.6  $\mu\text{Ci}$ )
- Cocinilla eléctrica
- Balón de vidrio
- Destilador de laboratorio
- Vaso
- Soporte
- Jeringas de 1 ml
- Blindajes

### 2.2 Metodología

El método se basa en la simulación de una destilación simple (Figura 1), donde se calienta la muestra en una cocinilla eléctrica y se va obteniendo el destilado en el extremo del destilador, para posteriormente ser medida una alícuota de 1 ml en cuentas/s siguiendo los siguientes pasos:

- Se instala un equipo de laboratorio de destilación (Figura 1) y un sistema de medición de radiotrazador (Figura 2).
- Se toma 0.5 ml de trazador de  $^{99m}\text{Tc}$  y se adiciona al balón, luego se añade 100 ml de agua y se hace circular el agua del sistema de refrigeración encendiendo la cocinilla eléctrica.

\* Correspondencia autor: gmaghella@ipen.gob.pe

- Una vez que se tiene un destilado de 30 ml de agua, se apaga la cocinilla.
- Luego se toma 1 ml de muestra y 1 ml de trazador y se mide en forma separada (Figura 2).
- Posteriormente se toma 2 ml de muestra y 2 ml de destilado y se miden en cuentas/s en el equipo de adquisición de datos.

El factor de destilación (K) de una sustancia se calcula como cociente entre las solubilidades o concentraciones por separado del destilado y de la muestra que se esta destilando. Por tanto, este factor mide la solubilidad diferencial de una sustancia en esos dos disolventes.

$$K = \frac{[sustancia]_1}{[sustancia]_2} = \frac{(cuentas/seg)_1}{(cuentas/seg)_2}$$

Donde:

[sustancia]<sub>1</sub> es la concentración o actividad en el destilado y, análogamente

[sustancia]<sub>2</sub> es la concentración o actividad de la muestra que se esta destilando.

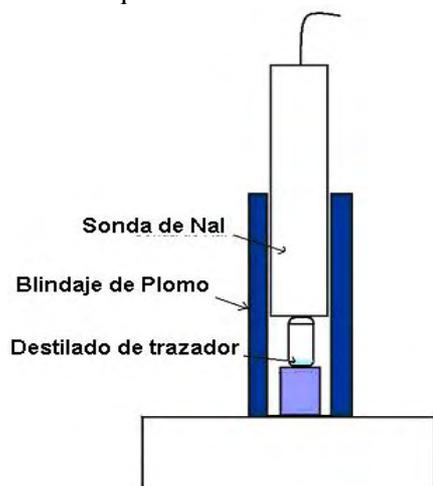


Figura 2. Sistema de medición (cuentas/s).

### 3. Resultados y Discusión

A partir de los resultados de la experiencia, se observa que al hacer la destilación con 2 volúmenes de muestras distintas, el conteo obtenido es casi el mismo, lo que nos conlleva a establecer que el factor de destilación es muy pobre hacia la fase vapor, permaneciendo el resto en la fase líquida en la muestra, tal como puede observarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados obtenidos en el sistema de adquisición de datos.

Solución	Vol ml	Cuentas/s sin fondo	Factor de destilación
Destilado	1	91.59	0.0114
Muestra	1	8013.14	
Destilado	2	186.22	0.0117
Muestra	2	1580.97	
Promedio			0.01155

### 4. Conclusiones

- El factor de destilación en una operación de destilación simple para el <sup>99m</sup>Tc en agua es de 0.01155 (1.1155%).

- El <sup>99m</sup>Tc no se recomendable para ser utilizado como radiotrazador en operaciones de destilación.

- Se sugiere el factor de destilación en fase vapor para otro tipo de radiotrazadores.

### 5. Referencia

[1] International Atomic Energy Agency. Guidebook on radioisotope tracers in industry, Technical Report Series N° 316. Vienna: Austria; 1990.

## Tecnología de irradiación en pimienta negra molida (*Piper nigrum*)

Johnny Vargas\*, Marco Linares, Emma Castro

Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la radiación gamma sobre la población microbiana, las características físico-químicas y la evaluación sensorial en pimienta negra molida, tratada con diferentes dosis, con la finalidad de obtener la dosis mínima óptima que reduzca la carga microbiana a las especificaciones recomendadas, sin alterar significativamente sus características físico-químicas y sensorial. Muestras de 500 g fueron irradiadas en el equipo Gammacell 220 a 0, 4, 7 y 10 kGy. La tasa de dosis inicial fue de 5.82 kGy/h. Se realizaron los siguientes análisis: microbiológico (Aerobios mesófilos, anaerobios, enterobacterias, *Salmonella/Shigella*, Coliformes totales, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus grupo D Lancefield*, *Bacillus cereus*, *Clostridium sulfito reductor*, mohos y levaduras), físico-químico (cenizas totales, cenizas insolubles en HCl, solubles en HCl, extracto alcohólico, extracto etéreo y fibra cruda). La evaluación sensorial (color, olor y sabor) mediante test descriptivo. Los métodos fueron los recomendados por la FDA, APHA, AOAC y las NTP. A las diferentes dosis ensayadas no se encontraron diferencias en los análisis físico-químicos y sensoriales. La dosis mínima seleccionada fue de 10 kGy que redujo la población de microorganismos aerobios mesófilos en 5 ciclos logarítmicos de  $6,0 \times 10^6$  a 10 UFC/g. Dosis de 4 kGy fue suficiente para reducir la población de hongos en 3 ciclos logarítmicos de  $4.1 \times 10^3$  a  $< 10$  UFC/g, cumpliendo con las especificaciones.

### Abstract

The aim of this study was to determine the effect of gamma radiation on microbial population, the physical-chemical and sensory evaluation in ground black pepper, treated with different doses alternatives, in order to obtain the optimal minimal dose that reduces microbial load to the recommended specifications, without significantly altering the physical-chemical and sensory. 500 g samples were irradiated in the Gammacell 220 to 0, 4, 7, and 10 kGy. The initial dose rate was 5.82 kGy / h. Were performed the following analysis: microbiological (aerobic mesophiles, anaerobes, Enterobacteriaceae, Salmonella / Shigella, total coliforms, Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Lancefield group D streptococci, Bacillus cereus, Clostridium sulfite reducer, molds and yeasts), Physico-chemical (total ash, ash insoluble in HCl, HCl-soluble extract, alcohol, ether extract and crude fiber. Sensory evaluation (color, odor and flavour) by descriptive test). The methods were those recommended by the FDA, APHA, AOAC and NTP. At different doses tested, there were no differences in physical-chemical analysis and sensory. The minimum dose of 10 kGy was selected that reduced the population of aerobic plate in 5 log units of  $6.0 \times 10^6$  to 10 UFC/g, dose of 4 kGy was sufficient to reduce the fungal population by 3 log units of  $4.1 \times 10^3$  to  $< 10$  UFC/g, according to the specifications.

### 1. Introducción

Las especias son ingredientes vegetales con carácter aromático que se utilizan habitualmente en pequeñas cantidades para conferir determinados sabores, aromas y colores, poseen además aceites esenciales y oleorresinas.

Las especias contienen frecuentemente gran número de microorganismos causantes de descomposición o de enfermedades cuando se incorporan a los alimentos, la población microbiana puede sobrepasar el nivel de  $10^8$  UFC/g (cien millones de unidades de micro-

organismos formadores de colonias), la carga de hongos puede llegar a veces a  $10^5$  -  $10^6$  UFC/g [1].

La pimienta es una de las especias más contaminadas por diversos microorganismos, es susceptible a la contaminación de bacterias, mohos y levaduras, desde la cosecha hasta el procesamiento, por lo que es causante de enfermedades y de la descomposición de los alimentos principalmente procesados.

\* Correspondencia autor: jvargas@ipen.gob.pe

Algunos de sus usos están dirigidos a la elaboración de embutidos, formulaciones a base de vegetales, productos deshidratados, sopas y salsas preparadas.

Se debe tener en cuenta que la pimienta en polvo también es utilizada como tal, sin ningún tratamiento térmico posterior, en el consumo de ensaladas frescas elaboradas con lechugas, tomates paltas, etc. o en el popular ceviche, lo cual es riesgoso para el consumidor.

La irradiación puede ser utilizada para corregir deficiencias de calidad y deberá evitarse la excesiva contaminación con microorganismos e insectos antes de la irradiación. También deberá tomarse las medidas necesarias para minimizar la contaminación cuando esta sea severa e inevitable.

Cuando se efectúan pruebas mediante métodos apropiados de muestreo y análisis, las especias, hierbas y otros sazoadores vegetales no tratados, cosechados y manipulados bajo adecuadas condiciones higiénicas deberán presentar:

- No más de  $10^4$  bacterias coliformes por g.
- No más de  $10^5$  propágulos de mohos por g.

Los objetivos de la irradiación en pimienta molida fueron:

- Reducir la población microbiana de microorganismos aerobios mesófilos, mohos y levaduras.
- Reducir el número de bacterias patógenas sin alterar significativamente sus características físico-químicas y sensoriales.

La irradiación no se utiliza para la preservación de estos productos, esta se obtiene mediante el empaque, almacenamiento adecuado y secado apropiado.

#### *Características del producto a irradiar*

El proceso de irradiación se puede aplicar en su empaque final para su comercialización. Las consideraciones usuales tomadas en cuenta son la calidad y el uso de las buenas prácticas de producción. La irradiación puede ser utilizada para corregir deficiencias de calidad. Deberá evitarse la excesiva contaminación con microorganismos antes de la irradiación [2].

#### *Dosis*

La unidad de dosis absorbida es el gray (Gy), que viene a ser la energía absorbida de un Joule por kg de materia irradiada:

$$\text{Gy} = \text{Joule/kg}$$

## **2. Experimental**

Las muestras proceden de una industria nacional y fueron irradiadas en el equipo de irradiación Gammacell 220.

La dosimetría Fricke se realizó de acuerdo con la densidad y geometría del producto en el cilindro de irradiación para hallar la tasa de dosis y calcular los tiempos de exposición a la radiación gamma

Para la dosimetría se utilizó el método ASTM E 1026 – 1995 Practice for Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System.

Los métodos empleados en los análisis físico-químicos y las especificaciones para pimienta fueron consultados de la AOAC y las Normas Técnicas Nacionales (1984).

Los métodos empleados en los análisis microbiológicos fueron realizados de acuerdo con lo señalado por la FDA 6ta Edición [3].

La evaluación sensorial se realizó mediante la prueba de comparación que permite encontrar diferencias entre dos o más muestras cuando estas son presentadas a los panelistas, quienes dan sus respuestas o calificaciones a través de términos descriptivos. Con el objeto de obtener una medición cuantitativa se puntuaron los resultados sobre una escala hedónica de 1 a 5 puntos, donde:

Excelente	- 5 puntos
Bueno	- 4 puntos
Satisfactorio	- 3 puntos
Regular	- 2 puntos
Malo	- 1 punto

Intervinieron en el desarrollo de esta prueba 5 panelistas.

## **3. Resultados y Discusión**

En la Tabla 1 podemos apreciar que la pimienta negra molida presenta una elevada contaminación de aerobios mesófilos de  $6,0 \times 10^6$  UFC/g y al aplicarse la dosis de 10 kGy se logra reducir 5 ciclos logarítmicos (10 UFC/g) en lo que respecta a los hongos, podemos notar que es suficiente una dosis de 4 kGy para reducir completamente la

presencia de hongos en 3 ciclos logarítmicos (< 10 UFC/g).

**Tabla 1.** Análisis microbiológico en pimienta.

Determinaciones	Control	4 kGy	7 kGy	10 kGy
R.Aerobios mesófilos UFC/g	6,0x10 <sup>6</sup>	3,1x10 <sup>3</sup>	1,3x10 <sup>2</sup>	10
Recuento de Hongos UFC/g	4,1x10 <sup>3</sup>	<10	<10	<10
Recuento Levaduras UFC/g	<10	<10	<10	<10
R.Anaerobios UFC/g	1,1x0 <sup>3</sup>	2,3x0 <sup>2</sup>	30	<10
Enterobacterias UFC/g	2,3x10 <sup>2</sup>	<10	<10	<10
D. <i>Salmonella/Shigella</i> (25g)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Coliformes totales (NMP/g)	24,0	0,91	<0,3	<0,3
Detección <i>E. coli</i> (en 25g)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
R Clostridium sulfito r UFC/g	1,4x10 <sup>3</sup>	3,0x0 <sup>2</sup>	1,5x0 <sup>2</sup>	1,6x10
<i>Staphylococcus aureus</i> en 1 g	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Streptococos GD Lancefield	240	<0,3	<0,3	<0,3
Bacillus cereus UFC/g	<10	<10	<10	<10



**Figura 1.** Recuento de hongos en pimienta sin irradiar.

También a una dosis de 10 kGy son eliminados microorganismos como anaerobios, enterobacterias, *Coliformes* totales, y *Streptococos* Grupo D Lancefield.

En la muestra de pimienta negra molida no se encontró *Salmionella/Shiguella*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Bacilus cereus* y levaduras.

**Tabla 2.** Análisis físico-químico en pimienta.

Determinaciones	Control	4 kGy	7 kGy	10 kGy
Cenizas totales (%)	4,80	4,92	4,74	4,77
Cenizas insolubles HCl%	0,34	0,30	0,37	0,34
Cenizas solubles HCl%	4,50	4,59	4,37	4,50
Extracto alcohólico (%)	4,29	4,90	4,33	4,29
Extracto etéreo total (%)	11,50	11,90	12,51	13,42
Fibra cruda (%)	11,81	10,54	11,95	11,05

En lo que respecta a los análisis físico-químicos no hay diferencias a las dosis ensayadas y están dentro de las especificaciones de la tabla 3, excepto en el porcentaje de extracto alcohólico que exige un mínimo de 8 % y los resultados de la investigación arrojan resultados entre 4,29 % para el control y 10 kGy, sin influir en estos datos las dosis administradas y en el análisis de extracto etéreo, la norma demanda un máximo de 7 % y en las muestras ensayadas,

todas están por encima de 11,50 por lo que el efecto de la irradiación no tiene influencia, en esta comparación.

**Tabla 3.** Especificaciones de análisis químico [3].

Determinación	Especificación	Referencia
Cenizas totales	Máximo 7.0 %	N. ITINTEC 209.105
Ceniza insoluble HCl	Máximo 1.5 %	N. ITINTEC 209.105
Extracto alcohólico	Mínimo 8.0 %	N. ITINTEC 209.105
Extracto etéreo	Máximo 7.0 %	N. ITINTEC 209.105
Fibra cruda	Máximo 15.0 %	N. ITINTEC 209.105

En los demás análisis realizados como en cenizas totales, no se hallaron diferencias importantes, tenemos valores entre 4,74% a 4,80 %, siendo 7 % el máximo requerido, al igual en cenizas insolubles en HCl, para todos los tratamientos entre 0,30 % y 0,37 %, siendo hasta 1.5 % el aceptado. También los valores en fibra cruda se mantuvieron constantes entre 10,54 y 11,81, debajo del máximo de 15 %.

**Tabla 4.** Análisis sensorial en pimienta.

Atributo	Control	4 kGy	7 kGy	10 kGy
<b>Color</b>	Cenizo claro	Cenizo claro	Cenizo claro	Cenizo claro
<b>Olor</b>	Aromático punzante	Aromático punzante	Aromático punzante.	Aromático punzante
<b>Sabor</b>	Picante	Picante	Picante	Picante
<b>Califica</b>	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
<b>Puntaje</b>	4	4	4	4

En lo que respecta al análisis sensorial no se encontraron diferencias entre el control y las diferentes dosis ensayadas, al evaluarse cuantitativamente, los jueces panelistas calificaron con un promedio de puntaje de 4 sobre una escala hedónica de 1 a 5, correspondiendo a este puntaje una calificación de Bueno para todos los tratamientos.

#### 4. Conclusiones

A una dosis de 10 kGy las características físico-químicas y sensoriales no son afectadas significativamente.

Dosis de 10 kGy en pimienta negra molida reduce la población de microorganismos de aerobios mesófilos en 5 ciclos logarítmicos.

Dosis de 10 kGy eliminan microorganismos anaerobios, enterobacterias, *Coliformes* totales y *Streptococos* Grupo D Lancefield.

Dosis de 4 kGy es suficiente para reducir la población de hongos en 3 ciclos logarítmicos

de  $4,1 \times 10^3$  UFC/g a  $<10$  UFC/g .

La muestra presentó una deficiente calidad microbiológica con predominio de microorganismos aerobios mesófilos de  $6,0 \times 10^6$  UFC/g y recuento de hongos de  $4,1 \times 10^3$  UFC/g con respecto a la NTP 209,105 que especifica un máximo de  $1,0 \times 10^5$  UFC/g para microorganismos aerobios mesófilos y 10 UFC/g para hongos.

En la muestra de pimienta negra molida no se encontró *Salmonella/Shiguella*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* y levaduras.

## 5. Bibliografía

- [1] Farkas J. Tratamiento de las Especies por Irradiación. En: Organismo Internacional de Energía Atómica. La irradiación de alimentos en Latinoamérica: IAEA-TECDOC-331. Vienna: IAEA; 1985. p. 123-143.
- [2] Documento GCIIA N° 5. Código de las buenas prácticas de irradiación para el control de patógeno y otra microflora en especias, hierbas y otros sazoadores Vegetales. FAO-OIEA-OMS. Viena; 1991.
- [3] Instituto de Investigaciones Tecnológico Industrial y de Normas Técnicas. NTP.209.105. Especies y condimentos. Pimienta negra y blanca. Lima: ITINTEC; 1976.

## **V. Aplicaciones en Medicina y Biología**

## Validación de la técnica de PCR para la amplificación de una secuencia de 118pb. del exón 2 perteneciente al gen *TLR2* de alpaca (*Vicugna pacos*)

Angel Montes<sup>1</sup>, Jorge Rodríguez<sup>2</sup>, Juan Agapito<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Genómica, Instituto Peruano de Energía Nuclear.

Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Laboratorio de Biotecnología y Biología Molecular-LID. Universidad Peruana Cayetano Heredia

Av. Honorio Delgado 430, SMP, Perú

### Resumen

Las enfermedades infecciosas en alpacas, constituyen un serio problema en la pérdida económica del sector alpaquero. Este trabajo tuvo por objetivo validar la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), para la amplificación de una secuencia de 118 pb del exón 2 del *TLR2* utilizando cebadores reportados en ovino. Para este estudio se evaluaron 100 muestras de ADN de alpacas pertenecientes al Fundo Mallkini –Melgar, Puno. Se evaluó la sensibilidad y especificidad de la PCR utilizando diferentes condiciones de PCR y concentraciones de ADN genómico de alpaca (5 ng/μL, 10 ng/μL, 15 ng/μL, 20 ng/μL, 25 ng/μL, 30 ng/μL). La técnica de PCR mostró una elevada sensibilidad y especificidad para la amplificación de un fragmento de 118 pb del exón 2 del *TLR 2* y es una alternativa para la amplificación de una región conservada del *TLR 2* utilizando cebadores provenientes de ovino.

Palabras claves.: *TLR 2, PCR, alpacas, validación*

### Abstract

Infectious diseases in alpacas are a problem because of the economical loss in this important sector of the economy. The aim of the study was to validate the technique of Chain Reaction Polymerase (PCR) to amplify a 118 bp sequence of exon 2 of *TLR 2* using primers reported in ovine. One hundred samples of alpaca DNA belonging to the Mallkini breeding center Melgar-Puno were examined. The PCR sensibility and specificity were evaluated using different PCR conditions and genomic alpaca DNA concentrations (5 ng/μL, 10 ng/μL, 15 ng/μL, 20 ng/μL, 25 ng/μL, 30 ng/μL). The PCR technique showed a high sensibility and specificity for the amplification of a 118pb fragment from Exon 2 of *TLR 2* and it is an alternative for the amplification of conservated region of *TLR2* using ovine primers.

Keys word: *TLR 2, PCR, alpacas, validation*

### 1. Introducción

Los camélidos sudamericanos han sido desde épocas remotas un recurso importante para los pobladores altoandinos debido a su fuerza de carga, su carne y por la calidad de su fibra. La alpaca (*Vicugna pacos*) constituye un recurso de importancia económica para un vasto sector de la población altoandina. El 11% de la población se relaciona con la crianza de alpacas que cuenta con más de 120,000 criadores. Así mismo, nuestro país cuenta con la mayor población de alpacas a nivel mundial, superando los 3 millones de ejemplares y se constituye en el principal productor de fibra (80%) de alpaca en el mundo (CONACS, 2003) [1].

En la actualidad, el 90% de la producción de fibra de alpaca se destina al mercado

internacional, representando aproximadamente el 1.35% de las exportaciones en los últimos años[2]. Esta cifra ha ido disminuyendo debido a la pérdida de la calidad de la fibra y a la alta tasa de mortalidad y morbilidad tanto en neonatos como en animales adultos, produciendo una disminución en las tasas productivas y reproductivas que a su vez generan cuantiosas pérdidas económicas en este sector productivo.

Las enfermedades infecciosas como colibacilosis y enterotoxemia son las causas más frecuentes de mortalidad en las crías entre 13 y 68 % [3]. El conocimiento de la respuesta inmune en alpacas constituye una

---

\* Correspondencia autor: jagapito@ipen.gob.pe

herramienta básica para el diseño de alternativas de prevención y control de enfermedades infecciosas. El sistema inmune innato es la primera línea de defensa que impide la invasión y diseminación de los patógenos cuyo mecanismo reconoce un patrón común y constante en la superficie de los microorganismos denominado patrón molecular asociado a patógeno (PMAP) a través de receptores conocidos como receptores reconocedores de patógenos (PRR).

Entre las proteínas con características de PRR hay que destacar a los receptores similares a Toll (TLR). La identificación de esta proteína se inició con el descubrimiento de una proteína llamada Toll que es componente esencial de la vía que establece el desarrollo dorso-ventral del embrión de *Drosophila melanogaster* [4]. Debido a la homología de Toll con el receptor de interleuquina 1 (RIL1) [5] y a la conservación de los canales de señalización en ambos sistemas, se propuso que Toll estaba involucrado en la regulación de la respuesta inmunitaria [6,7], lo cual se corroboró con la demostración de su participación en la inducción de resistencia a infecciones producidas por hongos [8].

Poco tiempo después, mediante búsquedas en las bases de datos de identificadores de secuencias expresadas (EST) y utilizando secuencias conservadas en el dominio de señalización de Toll/RIL1, se identificó un homólogo del receptor Toll de *Drosophila* en el humano [9]. A partir de este hallazgo y utilizando estrategias similares, se identificó una familia de proteínas estructuralmente relacionada con la proteína Toll de *Drosophila* que colectivamente se les denomina receptores tipo Toll (TLR) [10]. En el humano la familia de receptores tipo Toll consta de 11 miembros y son los que mayormente han sido estudiados [11,5,12]. Este receptor tipo Toll en mamíferos señala la presencia de un grupo de constituyentes microbianos (PMAPs) que incluye los proteoglicanos de las bacterias grampositivas [13].

El *TLR2* responde a lipoproteínas y lipopéptidos de una amplia gama de agentes patógenos como *Borrelia burgdorferi*, *Treponema pallidum* y *Mycoplasma fermentans* [14]. En células deficientes en

*TLR2* se confirmó que puede actuar como un receptor para los componentes de las bacterias Gram-positivas, ya que eran altamente susceptibles a la infección con *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus pneumoniae* [15,16]. Asimismo *TLR2*, al igual que otros *TLR*, presenta diferencias en humanos y ratones en la expresión, transcripción, concentración tisular y regulación [17].

La información geonómica en alpacas es escasa y no hay secuencias reportadas para los principales genes vinculados con la respuesta inmune innata como los TLR. El presente trabajo busca validar una técnica de PCR para amplificar un fragmento del exón 2 del *TLR2* utilizando cebadores reportados en ovinos como alternativa para su amplificación en ADN genómico de alpaca.

## 2. Material y Método

### 2.1 Extracción de ADN

ADN geonómico fue extraído a partir de 3 mL de sangre con anticoagulante proveniente de 100 alpacas (*Vicugna pacos*) pertenecientes al fundo Mallkini – Michell Cia (Melgar – Puno) mediante la técnica de precipitación por sales (salting out). La concentración de ADN fue determinada mediante espectrofotometría utilizando un equipo NanoDrop™ 1000 (Thermo Scientific).

### 2.2 Reacción en Cadena de la Polimerasa

Se amplificó una región conservada de 118 pares de bases del exón 2 del TLR 2 mediante reacción en cadena de la polimerasa (PCR) utilizando los oligonucleótidos F1 (5'-GACTTCTCCCATTTCGGTCT-3') y F2 (5'-TAAGCTGCGGAAGATCATGA-3') [18] en un volumen final de 20 µL, conteniendo 20 ng ADN genómico, 1X de Buffer de PCR, 200 µM de cada dNTPs, 2.5 mM de MgCl<sub>2</sub>, 1µM de cada oligonucleótido y 0,5U de AmpliTaq Gold (Applied Biosystems®). Los ciclos termales utilizados fueron una denaturación inicial de 94°C por 3 minutos seguido de 35 ciclos de 94°C por 60 segundos, 55°C por 45 segundos y 72°C por 60 segundos y una extensión final de 72° por 10 minutos [19], la amplificación se realizó en un termociclador modelo TECHNE, TC-

412. La región del exón 2 de TLR 2 depositados en el GenBank bajo el número de acceso EU413951.1 fue utilizada como secuencia de referencia para el presente estudio.

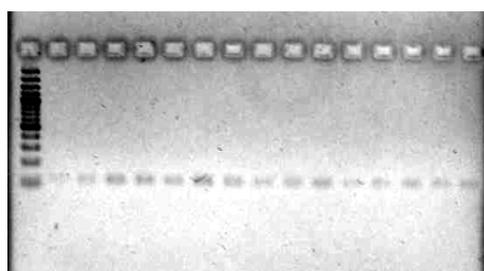
### 2.3 Electroforesis de ADN

Los productos de PCR fueron separados en geles de agarosa al 2% (p/v) en una solución tampón de TBE 1X (0.045mM de Trisborato, 1mM de EDTA pH = 8 ± 0.2), a 60V durante 1 hora, teñidos con una solución de bromuro de etidio (0.01 mg/mL) y fotografiados bajo luz ultravioleta. Se utilizó como marcador de peso molecular 100pb (Fermentas).

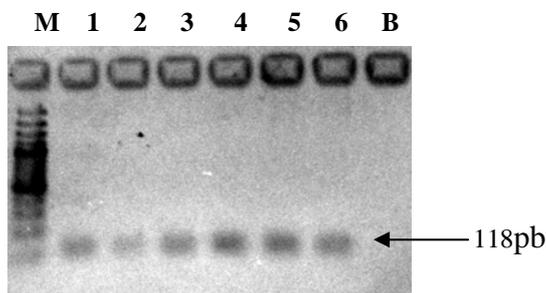
#### Estudio de reproducibilidad de la PCR

La reproducibilidad de la técnica se evaluó mediante un ensayo piloto de 45 repeticiones de PCR, bajo las mismas condiciones de manipulación, equipos y reactivos (Figura 1).

M 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15



**Figura 1:** Electroforesis en gel de agarosa al 2%. Amplificación de la secuencia del gen *TLR2*, a partir de muestras de alpaca, M = marcador de peso molecular de 100pb, Línea 1 - 15, productos de PCR.



**Figura 2:** Electroforesis en gel de agarosa al 2% Sensibilidad de la técnica de PCR (5 ng/μl, 10 ng/μL, 15 ng/μL, 20 ng/μL, 25 ng/μL, 30 ng/μL) M = marcador de peso molecular de 100pb, Línea.

#### Estudio de Sensibilidad

Para el estudio de sensibilidad se ensayaron 6 diferentes concentraciones de ADN (5 ng/μL,

10 ng/μL, 15 ng/μL, 20 ng/μL, 25 ng/μL, 30 ng/μL). Cada concentración fue utilizada en la reacción de PCR, según las condiciones indicadas anteriormente (Figura 2).

### 3. Resultados y Discusión

Se amplificó un fragmento de 118 pares de bases pertenecientes al exón 2 del *TLR 2* en ADN genómico de alpaca (Figura 1).

La PCR mostró una alta sensibilidad y reproducibilidad, aún utilizando distintas concentraciones de ADN genómico (5 ng/μL, 10 ng/μL, 15 ng/μL, 20 ng/μL, 25 ng/μL, 30 ng/μL) (Figura 2). Así mismo, evidenció una elevada especificidad con la ausencia de amplificación inespecífica (Figura 1). Los cebadores reportados para amplificación del exón 2 del *TLR 2* ovino han demostrado la capacidad de amplificación cruzada en alpacas, demostrando el alto nivel de conservación de dichas secuencias.

El método de PCR desarrollado en este estudio puede utilizarse como herramienta para determinar la variabilidad genética de la región conservada del exón 2 del *TLR 2*, la identificación de variantes relacionadas con la resistencia y/o susceptibilidad a infecciones por microorganismos Gram positivos y al mejor entendimiento de la respuesta inmune innata en alpacas.

### 4. Conclusiones

La técnica de PCR para la amplificación del exón 2 del *TLR* en alpacas ha demostrado tener una elevada sensibilidad y especificidad.

### 5. Agradecimientos

Al Bgo. Marco Espinoza por las facilidades brindadas en el Laboratorio de Citogenética y Radiobiología, al Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), a INCAGRO (Proyecto del Ministerio de Agricultura N° 05-0010), al Instituto Peruano de Alpaca y Camélidos (IPAC) y al Proyecto FINCyT – PIBAT 2007.

### 6. Bibliografía

- [1] Concejo Nacional de Camélidos Sudamericanos (CONACS). Población de Alpacas por departamentos. Programa de Camélidos domésticos. Lima: Perú; 2003.
- [2] Palacios C, Perales R, Chavera A, López

- T. Caracterización Anatómo-histopatológica de enteropatías causantes de mortalidad en crías de alpacas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 2005; 16(1):34-40.
- [3] Torres D. Entre el pasado y la innovación. La fibra de alpaca en el sur peruano. Lima: DESCO; 2005.
- [4] Moreno C, Sánchez-Ibarrola A. Receptores tipo Toll: Bases moleculares de la relación entre respuestas innatas y adaptativas del sistema inmunitario. *Rev Med Univ Navarra*. 2003; 47(3):29-33.
- [5] Gay NJ, Keith FJ. *Drosophila* Toll and IL-1 receptor. *Nature*. 1991; 351:355-6.
- [6] Wasserman SA. A conserved signal transduction pathway regulating the activity of the rel-like proteins dorsal and NF-kappa B. *Mol Biol Cell*. 1993; 4:767-71.
- [7] Belvin MP, Anderson KV. A conserved signaling pathway: the *Drosophila* toll-dorsal pathway. *Annu Rev Cell Dev Biol*. 1996; 12:393-416.
- [8] Lemaitre B, Nicolas E, Michaut L, Reichhart JM, Hoffmann JA. The dorsoventral regulatory gene cassette spatzle/Toll/cactus controls the potent antifungal response in *Drosophila* adults. *Cell*. 1996; 86:973-83.
- [9] Medzhitov R, Preston-Hurlburt P, Janeway CA Jr. A human homologue of the *Drosophila* Toll protein signals activation of adaptive immunity. *Nature*. 1997; 388: 394-7.
- [10] Bautista Garfias C, Mosqueda Gualito J. Papel de los receptores tipo toll en la inmunidad innata y su aplicación en medicina veterinaria. *Vet Méx*. 2005; 36(4):453-68.
- [11] Hashimoto C, Hudson KL, Anderson KV. The Toll gene of *Drosophila*, required for dorsal-ventral embryonic polarity, appears to encode a transmembrane protein. *Cell*. 1988; 52:269-79.
- [12] Zhang D, Zhang G, Hayden MS, Greenblatt MB, Bussey C, Flavell RA *et al*. A toll-like receptor that prevents infection by uropathogenic bacteria. *Science*. 2004; 303:1522-1526.
- [13] Janeway Charles, Travers Paul, Walport Marcos, Shlomchik Marcos. *Inmunobiología*. 2001. 2da. Ed., Editorial Masson, S.A.
- [14] Khor, C. C., Chapman, S. J., Vannberg, F.O., Dunne A, Murphy C, Ling EY, *et al*. A Mal functional variant is associated with protection against invasive pneumococcal disease, bacteremia, malaria and tuberculosis. *Nature Genetics*. 2007; 39:523-528.
- [15] Echchannaoui H, Frei K, Schnell C, Leib SL, Zimmerli W, Landmann R. Toll-like receptor 2-deficient mice are highly susceptible to *Streptococcus pneumoniae* meningitis because of reduced bacterial clearing and enhanced inflammation. *J Infect Dis*. 2002; 186:798-806.
- [16] Takeuchi O, Sato S, Horiuchi T, Hoshino K, Takeda K, Dong Z, *et al*. Cutting edge: role of Toll-like receptor 1 in mediating immune response to microbial lipoproteins. *J. Immuno*. 2002; 169:10-14.
- [17] Rehli M. Of mice and men: species variations of Toll-like receptor expression. *Trends Immunol*. 2002; 23:375-378.
- [18] White SN, Kata SR, Womack JE. Comparative fine maps of bovine toll-like receptor 4 and toll-like receptor 2 regions. *Mammalian Genome*. 2003; 14:149-155.
- [19] Mucha R, Bhide MR, Chakukar EB, Novak M, Mikula Sr. I. Toll like receptors TLR1, TLR2 and TLR4 gene mutations and natural resistance to *Mycobacterium avium* subsp. *Paratuberculosis* infection in cattle. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2009;128:381-388.

## Identificación preliminar de microflora bacteriana en el compartimiento 1 del sistema digestivo en alpacas (*Vicugna pacos*)

Jorge Rodríguez<sup>1,2,\*</sup>, Fernando Carcelen<sup>1</sup>, Juan Agapito<sup>3</sup>, Teresa Barreto<sup>2</sup>, Carolina Rodríguez<sup>1</sup>, Felipe San Martín<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y Alimentación Animal – Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Circunvalación cda 29 S/N, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Unidad de Biotecnología Molecular – Laboratorios de Investigación y Desarrollo, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Av. Honorio Delgado 430, Lima 31, Perú

<sup>3</sup> Laboratorio de Genómica, Instituto Peruano de Energía Nuclear  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

Un estudio preliminar de identificación de bacterias presentes en el compartimiento 1 de alpacas Huacaya fue realizado. Fragmentos de 728 bases del gen 16S rDNA fueron amplificados mediante PCR. Los productos de PCR fueron clonados en un vector de expresión PGEM-T (Promega), transformados en *Escherichia coli* JM109 y secuenciados en un analizador genético ABI 3130. El análisis de 32 secuencias del gen 16S rDNA indicaron altos grados de similaridad (> 95%, > e-140) con secuencias de bacterias previamente descritas en bases de datos del GeneBank, Blast server for bacterial identification, Ribosomal database project y BiBi database. Sin embargo, un 25 % de las secuencias no mostraron similaridad con secuencias bacterianas descritas previamente. Los resultados indican la presencia de *Ruminococcus flavefaciens*, *Ruminococcus bromi*, *Clostridium thermocellum*, *Succinivlasticum ruminis*, *Sporobacter termitidis*, *Fastidiosipila sanguinis* y sugieren la presencia de bacterias no descritas a la fecha en el compartimiento 1 de la alpaca.

### Abstract

A preliminary study on identification of bacteria present in compartment 1 of Huacaya alpacas was performed. Fragments of 728 bases of 16S rDNA gene were amplified using PCR. PCR products were cloned into a pGEM-T (Promega) expression vector, transformed into *Escherichia coli* JM109 and sequenced in an ABI 3130 Genetic Analyzer. The analysis of 32 16S rDNA sequences indicated a high degree of similarity (> 95% ,> e-140) with sequences of bacteria previously described in the GenBank database, Blast server for bacterial identification, Ribosomal Database Project and BiBi database. However, 25 % of sequences do showed similarity with any bacterial sequences described in bacterial database. The results indicate presence of *Ruminococcus flavefaciens*, *Ruminococcus bromi*, *Clostridium thermocellum*, *Succinivlasticum ruminis*, *Sporobacter termitidis*, *Fastidiosipila sanguinis* and suggest the presence of bacteria not yet described in the alpaca compartment 1.

### 1. Introducción

La caracterización de la microbiota gastrointestinal en animales domésticos es la primera etapa en el desarrollo de biotecnologías aplicadas a la nutrición animal.

Tradicionalmente la microbiota bacteriana ha sido estudiada mediante cultivo, lo cual requería una intensa labor e información sobre requerimientos nutricionales y de crecimiento bacterianos. Estos métodos han sido sustituidos por técnicas moleculares, basadas en la amplificación y secuenciamiento de fragmentos del gen

ribosomal 16S [1,2]. El gen ribosomal 16S se encuentra presente en todos los genomas bacterianos, es altamente conservado y posee una extensión de aproximadamente 1.5 Kb [1]. Su estructura incluye regiones conservadas y altamente variables intercaladas, lo cual permite la identificación de géneros y especies bacterianas mediante la amplificación y secuenciamiento del gen [10].

La caracterización molecular de la microflora

---

\* Correspondencia autor: jorge.rodriguez.b@upch.pe

bacteriana se ha realizado con éxito en diferentes especies domésticas, como perros [3] conejos [4], ganado bovino [5]; sin embargo, se carece de reportes sobre especies bacterianas presentes en el compartimiento 1 de la alpaca.

## 2. Materiales y Método

ADN plasmídico fue extraído de 50 clonas mediante Miniprep Plasmid DNA (Promega) y se amplificaron los fragmentos insertados mediante PCR. Los insertos fueron secuenciados en ambas direcciones (5' - 3' y 3' - 5') usando ABI PRISM Big Dye Terminador Cycle Sequencing Ready Reaction Kit y un secuenciador automático ABI PRISM 3130 Genetic Analyser®.

La edición de las secuencias y alineamiento se realizó mediante Mega v4.0 [9]. Las secuencias de ADN fueron comparadas directamente con las bases de datos del GeneBank mediante el uso del programa BLASTN ([www.ncbi.nih.nlm.gov](http://www.ncbi.nih.nlm.gov)), Blast server for bacterial identification ([www.bioinfo.unice.fr/blast/](http://www.bioinfo.unice.fr/blast/)), Ribosomal database project ([http://rdp.cme.msu.edu/seqmatch/seqmatch\\_intro.jsp](http://rdp.cme.msu.edu/seqmatch/seqmatch_intro.jsp)) y BiBi database (<http://umr5558-mq1.univ-lyon1.fr/qm?page=BibiDataBases>) para identificar género y especie bacteriano en base a la similitud de secuencia (>95%), e-value (e-140) y a su origen filogenético [10].

## 3. Resultados y Discusión

Un total de 32 secuencias únicas de un fragmento de 728 bp del gen 16S rDNA fueron obtenidas a partir de 50 colonias picadas y secuenciadas. El análisis de las 32 secuencias del gen 16S rDNA permitieron la identificación de bacterias en base a la similitud de secuencias, e-value y a origen filogenético [10]. Se identificaron 7 especies bacterianas previamente descritas en bases de datos del GeneBank, Blast server for bacterial identification, Ribosomal database project y BiBi database: *Succiniclasicum ruminis* (X81137; e-176; 95% similitud), *Sporobacter termitidis* (Z49863; e-143; 96% similitud), *Fastidiosipila sanguinis* (e-156, 95% similitud), *Ruminococcus flavefaciens* (AM915271; e-166; 95% similitud), *Ruminococcus bromi* (L76600 ; e-174; 94% similitud) y *Clostridium thermocellum* (FJ599513; e-141; 95% similitud). Sin

embargo, un 25% de las secuencias no mostraron similitud con secuencias bacterianas (< 86% similitud, < e-80) descritas previamente.

## 4. Conclusiones

Los resultados preliminares indican la presencia de *Ruminococcus flavefaciens*, *Ruminococcus bromi*, *Clostridium thermocellum*, *Succiniclasicum ruminis*, *Sporobacter termitidis*, *Fastidiosipila sanguinis* y sugieren la presencia de bacterias no descritas a la fecha en el compartimiento 1 de la alpaca. Se recomienda continuar con el secuenciamiento de más clonas a partir de la biblioteca de genes 16S rDNA elaborada.

## 5. Agradecimientos

A la Dra. Rosa Gonzáles del Laboratorio de Patología Aviar, Facultad de Medicina Veterinaria –UMSM.

Al Dr. Arnaldo Alvarado, Ing. Juan Olazabal, y a los estudiantes Roxana Mires y Josmel Pacheco del Laboratorio de Bioquímica y Nutrición Animal.

Al Blgo. Marco Espinoza por las facilidades brindadas en su laboratorio del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

Al Laboratorio de Genómica del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

Este trabajo ha sido financiado por el Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y Alimentación Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

## 6. Bibliografía

- [1] Zoetendal E, *et al.* Molecular ecological analysis of the gastrointestinal microbiota: A review. *J Nutr.* 2004; 134(2):465-72.
- [2] Makkar H & McSweeney C. *Methods in gut microbiol ecology for ruminants.* New York: Springer; 2005.
- [3] Vanhoutte T, Huys G, De Brandt E, Fahey GC Jr, Swings J. Molecular monitoring and characterization of the faecal microbiota of healthy dogs during fructan supplementation. *FEMS Microbiol.* 2005; 249(1):65-71.
- [4] Linaje R, *et al.* Characterization of faecal enterococci from rabbits for the selection of

- probiotic strains. *J Appl Microbiol.* 2004; 96(4):761-71.
- [5] Tajima K, Aminov R, Nagamine T, Ogata K, Nakamura M, Matsui H, Benno Y. Rumen bacterial diversity as determined by sequence analysis of 16S rDNA libraries. *FEMS Microbiology Ecology.* 1999; 29:159-169.
- [6] Wilson K, Blitchington R. Human colonic biota studied by ribosomal DNA sequence analysis. *Appl Environ Microbiol.* 1996; 62:2273-78.
- [7] Pryde S, *et al.* Molecular analysis of the microbial diversity present in the colonic wall, colonic lumen and cecal lumen of a pig. *Appl Environ Microbiol.* 1999; 65:5372-77.
- [8] Abecia L, Fondevila M, Balcells J, Edwards J, Newbold J, McEwan N. Molecular profiling of bacterial species in the rabbit caecum. *FEMS Microbiology Letters.* 2005; 244:111-115.
- [9] Tamura K, Dudley J, Nei M & Kumar S. MEGA4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software version 4.0. *Molecular Biology and Evolution.* 2007; 24: 1596-99.
- [10] Mignard S, Flandrois J. 16S rRNA sequencing in routine bacterial identification: A 30-month experiment. *Journal of Microbiological Methods.* 2006; 67:574-81.

## Identificación preliminar de microflora bacteriana en el ciego del cuy (*Cavia porcellus*)

Fernando Carcelen<sup>1</sup>, Arnaldo Alvarado<sup>1</sup>, Roxana Mires<sup>1</sup>, Katerine Porturas<sup>1</sup>, Jorge Rodríguez<sup>1,2,\*</sup>, Juan Agapito<sup>3</sup>, Rosa Gonzáles<sup>4</sup>, Felipe San Martín<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y Alimentación Animal, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Circunvalación cda 29 S/N, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Unidad de Biotecnología Molecular. Laboratorios de Investigación y Desarrollo, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Av. Honorio Delgado 430, Lima 31, Perú

<sup>3</sup> Laboratorio de Genómica, Instituto Peruano de Energía Nuclear. Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>4</sup> Laboratorio de Patología Aviar, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Circunvalación cda 29 S/N, Lima 41, Perú

### Resumen

Un análisis preliminar de la microflora bacteriana presente en el ciego de cuy fue realizado. Amplificación de un fragmento del gen ribosomal 16S fue realizado a partir de un pool de ADN genómico bacteriano. Clonamiento al azar de los productos de PCR fue realizado en el vector PGEM-T vector plasmid (Promega) y *Escherichia coli* JM109 y secuenciados en ABI 3130 Genetic Analyzer. El análisis de 16 secuencias únicas del gen 16S rDNA indicaron altos grados de similaridad (> 95%, > e-140) con secuencias de bacterias previamente descritas en bases de datos del GeneBank, Blast server for bacterial identification, Ribosomal database project y BiBi database. Los resultados sugieren la presencia de *Escherichia coli*, *Escherichia albertii*, *Shigella flexneri*, *Shigella sonnei*, *Shigella boydii*, *Hafnia alvei*, *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus hirae*, *Staphylococcus equorum*, *Staphylococcus equorum subsp. Equorum*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Pseudomonas hibiscicola*, *Pseudomonas geniculata*, *Staphylococcus xylosum*, *Staphylococcus succini* como parte de la microflora bacteriana del ciego del cuy.

### Abstract

A preliminar study of bacterial microflora present in the cecum guinea pig was performed. Fragment amplification of ribosomal gene 16S were performed from bacterial genomic DNA pool. Random cloning of PCR products were performed into PGEM-T vector plasmid (Promega) and *Escherichia coli* JM109 and sequencing in ABI 3130 Genetic Analyzer. Analysis of 16 unique 16S rDNA sequences showed high similarity (> 95%, > e-140) with bacterial DNA previously described in Genebank database, Blast server for bacterial identification, Ribosomal database project and BiBi database. The results suggest the presence of *Escherichia coli*, *Escherichia albertii*, *Shigella flexneri*, *Shigella sonnei*, *Shigella boydii*, *Hafnia alvei*, *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus hirae*, *Staphylococcus equorum*, *Staphylococcus equorum subsp. Equorum*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Pseudomonas hibiscicola*, *Pseudomonas geniculata*, *Staphylococcus xylosum*, *Staphylococcus succinis* in the bacterial microflora from guinea pig cecum.

### 1. Introducción

La caracterización de la microbiota gastrointestinal en animales domésticos es la primera etapa en el desarrollo de biotecnologías aplicadas a la nutrición animal. Tradicionalmente, la microbiota bacteriana ha sido estudiada mediante cultivo, lo cual requería una intensa labor e información sobre requerimientos nutricionales y de crecimiento bacterianos. Estos métodos han sido sustituidos por técnicas moleculares, basadas en la amplificación y

secuenciamiento de regiones conservadas del gen ribosomal 16S [1,2].

La caracterización molecular de la microflora bacteriana se ha realizado con éxito en diferentes especies domesticas, como perros [3] conejos [4], ganado bovino [5]; sin embargo, se carece de reportes sobre especies bacterianas presentes en el ciego del cuy (*Cavia porcellus*).

\* Correspondencia autor: fcarcelen@unmsm.edu.pe

El conocimiento de la constitución particular de la microflora bacteriana en el ciego del cuy, constituye el primer paso para el aislamiento de especies bacterianas con potencial aplicación probiótica [4].

## 2. Materiales y Método

Cien gramos de contenido cecal provenientes de 5 cuyes (*Cavia porcellus*) alimentados con heno de alfalfa fueron tamizados mediante una solución diluyente (NaCl al 0.1% y SDS 0.1%) a razón de 1 parte de contenido cecal y 9 partes de solución diluyente. Bacterias cecales fueron colectadas mediante centrifugación a 5000 g durante 30 minutos. ADN genómico bacteriano fue extraído mediante Qiamp DNA Stool Mini Kit (Qiagen). La calidad y cantidad del ADN genómico extraído fue determinada por espectrofotometría utilizando un equipo NanoDrop™ 1000 (Thermo Scientific).

Cincuenta nanogramos de ADN genómico bacteriano fue utilizado para amplificar una región altamente conservada de 728 pares de bases del gen 16S rDNA mediante PCR utilizando los cebadores universales descritos para bacterias: 5'- CGC GCC GCA TTA GAT ACC CTG GTA GTC C -3' (*Escherichia coli* posición 787) [6,7] y 5' GCG GCC GCT ACC TTG TTA CGA CTT - 3' (*Escherichia coli* posición 1515) [6,7] y las condiciones descritas por [8]. Los productos de PCR fueron clonados dentro de un plásmido vector PGEM-T vector plasmid (Promega), seguidos de una transformación en células competentes *Escherichia coli* JM109. Un tamizado de las clonas con inserto fue realizado por  $\alpha$  - complementación de  $\beta$ -galactosidasa mediante X-Gal e IPTG en medio LB (Luria Broth) con ampicilina.

ADN plasmídico fue extraído de 50 clonas mediante Miniprep Plasmid DNA (Promega) y se amplificaron los fragmentos insertados mediante PCR. Los insertos fueron secuenciados en ambas direcciones (5' - 3' y 3' - 5') usando ABI PRISM Big Dye Terminador Cycle Sequencing Ready Reaction Kit y un secuenciador automático ABI PRISM 3130 Genetic Analyser®. La edición de las secuencias y alineamiento se realizaron mediante Mega v4.0 [9]. Las secuencias de ADN fueron comparadas directamente con las bases de datos del

GeneBank mediante el uso del programa BLASTN ([www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov)). Blast server for bacterial identification (<http://bioinfo.unice.fr/blast/>), Ribosomal database project ([http://rdp.cme.msu.edu/seqmatch/seqmatch\\_intro.jsp](http://rdp.cme.msu.edu/seqmatch/seqmatch_intro.jsp)) y BiBi database (<http://umr5558-mq1.univ-lyon1.fr/qm?page=BibiDataBases>) para identificar el género y especie bacterianos en base a la similitud de secuencia (>95%), e-value ( $e^{-140}$ ) y a su origen filogenético [10].

## 3. Resultados y Discusión

Un total de 16 secuencias únicas de un fragmento de 728 bp del gen 16S rDNA fueron obtenidas a partir de 50 colonias picadas y secuenciadas. El análisis de las 16 secuencias del gen 16S rDNA permitieron la identificación de bacterias en base a la similitud de secuencias, e-value y a origen filogenético [10]. Se identificaron 15 especies bacterianas previamente descritas en bases de datos del GeneBank, Blast server for bacterial identification, Ribosomal database project y BiBi database: *Escherichia coli* (AJ60511; e=0; 98% similitud), *Escherichia albertii* (AY696669; e=0; 98% similitud), *Shigella flexneri* (X96963; e=0, 98% similitud), *Shigella sonnei* (X96964; e=0; 99% similitud), *Shigella boydii* (X96965; e=0; 99% similitud) y *Hafnia alvei* (Z83203; e=0; 99% similitud), *Enterococcus faecalis* (Y18293, AF023101; e=0; 99% similitud), *Enterococcus hirae* (AB362597; e=0; 99% similitud), *Staphylococcus equorum* (DQ001314; e=0; 99% similitud), *Staphylococcus equorum subsp. Equorum*, (AF473545; e=0; 99% similitud), *Stenotrophomonas maltophilia* (AY785245; AB021405; e=0; 99% similitud), *Pseudomonas hibiscicola* (FJ888386; e=0; 100% similitud), *Pseudomonas geniculata* (EU407232; e=0; 99% similitud), *Staphylococcus xylosus* (GQ222240, AF041357; e=0; 99% similitud), *Staphylococcus succinis* (AF004219; e=0; 99% similitud).

## 4. Conclusiones

Los resultados preliminares indican la presencia de *Escherichia coli*, *Escherichia albertii*, *Shigella flexneri*, *Shigella sonnei*, *Shigella boydii*, *Hafnia alvei*, *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus hirae*, *Staphylococcus*

*equorum*, *Staphylococcus equorum* subsp. *Equorum*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Pseudomonas hibiscicola*, *Pseudomonas geniculata*, *Staphylococcus xylosum*, *Staphylococcus succinis* en el ciego del cuy. Se recomienda continuar con el secuenciamiento de más clonas a partir de la biblioteca de genes 16S rDNA elaborada.

## 5. Agradecimientos

Los autores agradecen a las personas y organizaciones que apoyaron la realización del presente trabajo: Laboratorio de Patología Aviar, Facultad de Medicina Veterinaria – UNMSM, Laboratorio de Bioquímica y Nutrición Animal, Ing. Juan Olazabal y Josmel Pacheco.

Al Laboratorio de Geonómica del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

Este trabajo ha sido financiado por el Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y Alimentación Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

## 6. Bibliografía

- [1] Zoetendal E, *et al.* Molecular ecological analysis of the gastrointestinal microbiota: a review. *J Nutr.* 2004; 134(2):465-72.
- [2] Makkar H & McSweeney C. *Methods in gut microbiol ecology for ruminants.* New York: Springer; 2005.
- [3] Vanhoutte T, Huys G, De Brandt E, Fahey GC Jr, Swings J. Molecular monitoring and characterization of the faecal microbiota of healthy dogs during fructan supplementation. *FEMS Microbiol.* 2005; 249(1):65-71.
- [4] Linaje R, *et al.* Characterization of faecal enterococci from rabbits for the selection of probiotic strains. *J Appl Microbiol.* 2004; 96(4):761-71.
- [5] Tajima K, Aminov R, Nagamine T, Ogata K, Nakamura M, Matsui H, Benno Y. Rumen bacterial diversity as determined by sequence analysis of 16S rDNA libraries. *FEMS Microbiology Ecology.* 1999; 29:159-169.
- [6] Wilson K, Blitchington R. Human colonic biota studied by ribosomal DNA sequence analysis. *Appl Environ Microbiol.* 1996; 62:2273-78.
- [7] Pryde S, *et al.* Molecular analysis of the microbial diversity present in the colonic wall, colonic lumen and cecal lumen of a pig. *Appl Environ Microbiol.* 1999; 65:5372-77.
- [8] Abecia L, Fondevila M, Balcells J, Edwards J, Newbold J, McEwan N. Molecular profiling of bacterial species in the rabbit caecum. *FEMS Microbiology Letters.* 2005; 244:111-115.
- [9] Tamura K, Dudley J, Nei M, Kumar S. MEGA4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software version 4.0. *Molecular Biology and Evolution.* 2007; 24: 1596-99.
- [10] Mignard S, Flandrois J. 16S rRNA sequencing in routine bacterial identification: A 30-month experiment. *Journal of Microbiological Methods.* 2006; 67:574-81.

## Relación médico-paciente al calmar el dolor óseo utilizando

### <sup>153</sup>Sm-EDTMP: Lecciones aprendidas

Rosanna Morales\*, Roque Cano, Germán Mendoza

Centro de Medicina Nuclear, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41;  
Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Av. Angamos Este 2520 Lima 12 Perú

#### Resumen

Es importante enfatizar que las relaciones humanas en medicina mejoran el estado del paciente, le dan una mejor calidad de vida. Después de más de 10 años tratando pacientes con metástasis óseas y dolor, a los que se ha administrado <sup>153</sup>Sm-EDTMP (ácido etilendiaminotetra-metilenfosfónico) se puede concluir que se ha podido atisbar el entendimiento del sufrimiento del ser humano y aprender que no solo es un logro tecnológico calmar el dolor, sino requiere considerar al otro como persona.

#### Abstract

It is important to emphasize that human relationships in medicine are vital for improving patient care and quality of life. After more than 10 years delivering radionuclides to palliate bone pain, using <sup>153</sup>Sm-EDTMP it can be concluded that suffering can be understood and that alleviating pain is not due mainly to technological skills, but requires a consideration of the patient as a person.

## 1. Introducción

Las metástasis óseas que producen dolor a los pacientes, son frecuentes en cáncer avanzado [1]. La terapia con radionúclidos como el <sup>153</sup>Sm-EDTMP permite calmar el dolor óseo en estos pacientes, con bajo costo, fácil acceso y eficacia [2].

En los últimos 10 años se ha utilizado <sup>153</sup>Sm-EDTMP, producido en la planta de Producción de Radioisótopos del IPEN, para paliar el dolor en pacientes que han acudido al Centro de Medicina Nuclear IPEN-INEN.

Adicionalmente, se ha aprendido en este período que el cuidado personalizado del paciente así como tener en cuenta aspectos humanos ha permitido dar una atención de calidad.

El objetivo del presente trabajo es reportar las experiencias que han ocurrido en estos años, en la relación médico paciente, con personas afectadas de dolor por metástasis óseas.

El plan que se adoptó fue registrar los hechos que merecieran un reporte específico de mejora en el dolor del paciente, no atribuible directamente al uso del radiofármaco y datos que fuesen de índole más personal que técnica.

Existe evidencia en la literatura del efecto de alivio de una dolencia, que se encuentra en los pacientes, cuando es el paciente quien acude libremente al médico, deseando mejoría, y el médico lo recibe amablemente, lo escucha y se hace partícipe de su dolor [3,4].

## 2. Metodología

Se revisaron los datos acumulados en 10 años sobre el manejo de los pacientes que recibieron <sup>153</sup>Sm-EDTMP.

Los pacientes recibieron 37 MBq/kg de <sup>153</sup>Sm-EDTMP, por vía endovenosa, diluido en 100 cc de suero fisiológico, en un período de 60 minutos.

Cada paciente fue atendido por uno de los autores, tomando datos clínicos en una consulta previa al tratamiento, otra con los resultados de exámenes hematológicos y la tercera, el día de la administración de <sup>153</sup>Sm-EDTMP.

Se realizó seguimiento de los pacientes o sus familiares al mes de recibido el tratamiento, por diversos medios (entrevistas, visitas y llamadas telefónicas) para indagar sobre la respuesta.

---

\* Correspondencia autor: rmorales@ipen.gob.pe



**Figura 1.** Inyección endovenosa de  $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP, con la compañía de un médico nuclear

En todos los casos se dejó la posibilidad que llamasen al Centro para que se les resolviese cualquier duda o inquietud.

Se reunieron los tres autores para establecer situaciones que ocurrieron en la relación médico paciente, que reflejasen una historia humana o una interacción más allá del tema estrictamente tecnológico.

### 3. Resultados y Discusión

Desde el año 2001 a la fecha se ha atendido en el Centro de Medicina Nuclear IPEN-INEN a 237 pacientes, para administrar  $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP.

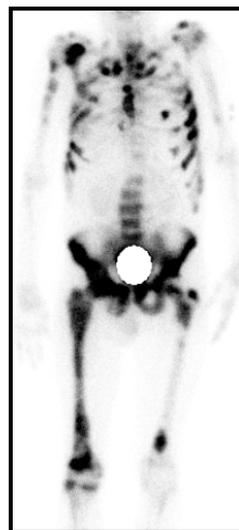
En todos los casos el tratamiento ha sido ambulatorio, teniendo un período de observación de una hora como promedio por cada paciente, antes de darle de alta del servicio.

Se pudo aliviar el dolor de los pacientes en 80% de los casos, disminuyendo la necesidad de administración de analgésicos en un 60%. Este alivio del dolor coincide con lo reportado en la literatura [5-7].

Cinco pacientes presentaron aumento del dolor, en forma transitoria, que disminuyó en tres días. En promedio, la duración del alivio del dolor fue de tres meses. Ningún paciente tuvo un efecto adverso serio.

Se observó que, en más de la mitad de los pacientes, el dolor disminuyó marcadamente a las 24 horas de administrar  $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP. Esto fue objeto de discusión en el equipo de trabajo, ya que no se describe en la literatura un efecto tan precoz.

En los pacientes que acudieron al Centro de Medicina Nuclear se apreció dolor óseo intenso y preocupación, pues el dolor interfería con su vida diaria y la interacción en familia. Cuando se alivió el dolor estos problemas se solucionaron, mejoró el apetito y se restauró el sueño.



**Figura 2.** Gammagrafía ósea de uno de los pacientes que recibió  $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP para calmar el dolor por metástasis. Tenía enfermedad ósea diseminada en todo el esqueleto, que le producía dolor intenso.

Muchos pacientes tuvieron confianza con el médico nuclear y relataron sus vivencias y la mejoría de la calidad de vida.

Las expectativas de los pacientes con respecto al tratamiento con Samario fueron muy grandes y podrían explicar el resultado de alivio precoz del dolor.

En los pacientes que tuvieron aumento de dolor esto fue más notorio, pues calmar su ansiedad, al recibir sus llamadas telefónicas, llevó a mejoría en pocas horas, teniendo en dos o tres días una disminución marcada del dolor.

En todo el proceso del tratamiento con Samario, en lo posible, la relación se estableció también con la familia, haciéndoles partícipes de los resultados y dándoles soporte emocional. Varias de estas familias han vuelto al Centro de Medicina Nuclear, a comunicar el deceso del paciente, sin dolor o simplemente a decir que agradecen la atención.

### 4. Conclusiones

El tratamiento del dolor óseo con  $^{153}\text{Sm}$ -EDTMP ha permitido acceder a conocimientos adicionales, de la relación médico-paciente y de la comprensión del sufrimiento humano.

## 5. Agradecimientos

A los pacientes, quienes han enseñado que el sufrimiento es una escuela de virtudes y que han brindado sus experiencias como seres humanos.

## 6. Bibliografía

[1] Sartor O. Overview of samarium-153 leixidronam in the treatment of painful metastatic bone disease. *Reviews in Urology*. 2004; Supp 10:S3-S12.

[2] Tripathi M, Sigal L, Shandrasekhar M, Kumar P, Bal C, Jhulka PK, *et al.* Samarium 153 ethylenediamine tetramethylene phosphonate therapy for bone pain palliation in skeletal metastases. *Indian Journal of Cancer*. 2006; 43:86-92.

[3] Stewart M, Mc Whinney I, Buck C. The doctor/patient relationship and its effect upon outcome. *Journal of the Royal College of General Practitioners*. 1979; 29:77-82.

[4] Wang X, Cleeland C, Mendoza T, Engstrom M, Liu S, Xu G, *et al.* The effects of pain severity on health related quality of life. A study on Chinese cancer patients. *Cancer*. 1999; 86:1848-55.

[5] Serafini AN. Samarium 153 Lexidronam for the palliation of bone pain associated to metastases. *Cancer*. 2000; 88:2934-39.

[6] Auclerc G, Antoine E, Cajfinger F, Brunette-Pomeyrol A, Agazia C, Khayat D. Management of advanced prostate cancer. *The Oncologist*. 2000; 5:36-44.

[7] Bayouth JE, Macey D, Kassi L, Fossella F. Dosimetry and toxicity of Samarium-153-EDTMP administered for bone pain related metastases. *J Nucl Med*. 1994; 35:63-69.

## **VI. Seguridad Nuclear y Protección Radiológica**

## Monitoreo de radón en la zona uranífera de Macusani, Región Puno

Susana Gonzáles\*, José Osores, Edith López, Jorge Martínez, Raúl Jara

Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1460, Lima 41, Perú

### Resumen

La serie del U-238, el Th-232 y el K-40 son los principales radionucleídos de interés. La concentración de esos radionucleídos es variable pero generalmente baja; sin embargo, ciertos minerales que son comercialmente explotables podrían contener radionucleídos de la serie uranio o torio en concentraciones elevadas. El radón es un gas radioactivo natural que es producido por el decaimiento radioactivo del uranio y torio presente en pequeñas cantidades en todos los suelos y rocas. Existen varios isótopos del radón pero el más importante es el radón-222 (derivado del U-238). Se presenta los resultados del estudio de monitoreo de radón en las zonas uraníferas de Macusani de la Provincia de Carabaya, Región Puno, encontrando que en las áreas adyacentes al Cerro Puchini, Río Chaconiza y Plataforma Minera Frontera se encuentran los valores más elevados de Radón 222; sin embargo, estos lugares se encuentran deshabitados, en otros lugares se evidenciaron concentraciones de Radón 222 en niveles naturales.

### Abstract

The U-238, Th-232, K-40 series are among the main radionuclides of interest. The concentration of these radionuclides varies but it is generally low, nevertheless, certain commercially exploitable minerals could contain uranium and/or thorium series radionuclides in high concentrations. Radon is a natural radioactive gas produced by the radioactive decay of uranium and thorium present in small amounts in soils and rocks. There are many radon isotopes but the most important is the Radon-222 (U-238 derived). Radon monitoring studies were performed by the Dirección de Servicios (IPEN), in the uranium reserves of Macusani, province of Carabaya, Department of Puno, found higher values of Raadon-222 in areas near Puchini Mountain, Chaconiza River and the Borderline Mining Platform, but they have no population. In other places, concentrations of Radon-222 were found in natural levels.

## 1. Introducción

Los estándares básicos de seguridad para la protección de la radiación ionizante y la seguridad de las fuentes de radiación [1] sostienen que deben cumplirse los requerimientos para todas las actividades que implican exposición a la radiación, incluyendo la radiación que proviene de fuentes naturales.

Estudios geológicos han demostrado la existencia de un importante potencial uranífero en el sur del Perú, especialmente, en los distritos de Macusani y Corani, Región de Puno. Los minerales de uranio constituyen materiales radiactivos que se encuentran naturalmente en la naturaleza [2].

El radón es un gas radioactivo natural que es generado por el decaimiento radioactivo del uranio y torio presente en pequeñas cantidades en todos los suelos y rocas.

Existen varios isótopos del radón pero el más importante es el radón-222 (derivado del U 238). El radón tiene una vida media de 3.82 días. Un producto de decaimiento del uranio 238, es el radón 222. Cuando el gas radón decae produce isótopos como el plomo, bismuto y polonio. Estos elementos también son radioactivos y se impregnan a las partículas naturales del aire de la atmósfera.

Cuando son inhalados por el ser humano pueden adherirse a las paredes del pulmón y otras partes del sistema respiratorio. Estos productos del decaimiento del radón pueden continuar decayendo y emiten partículas alfas que podrían irradiar las células de las paredes del sistema respiratorio.

También es importante conocer las concentraciones del gas radón que emanan del

---

\* Correspondencia autor: sgonzales@ipen.gob.pe

suelo y del ambiente de trabajo sobre todo en el caso de minería subterránea.

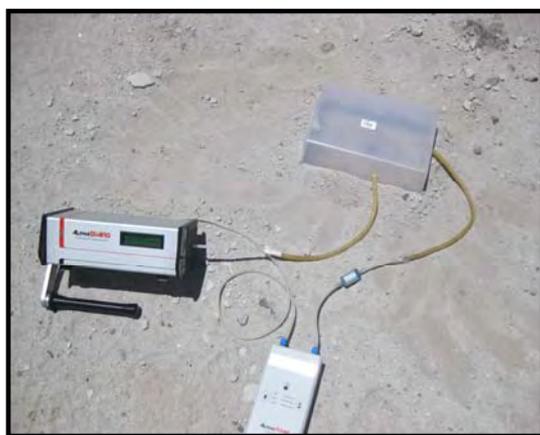
El Reglamento de Seguridad Radiológica [3], en su anexo V, ha establecido niveles de actuación para la exposición crónica al radón en aire, en viviendas ( $200-600 \text{ Bq/m}^3$ ) y la acción reparadora en puestos de trabajo es una concentración media anual de  $1000 \text{ Bq/m}^3$ .

## 2. Metodología

Las principales vías por las cuales el hombre puede estar expuesto a la radiación son:

- Vía atmosférica: Por inhalación de radón y aerosoles radiactivos.
- Vía terrestre: Debido a la radiación externa e ingestión de productos contaminados.
- Vía acuática: Por la ingestión de agua y alimentos contaminados.

Para el monitoreo de Rn-222 en aire y suelo, el IPEN cuenta con un monitor continuo Alpha Guard PQ 2000 PRO que también mide radiación natural y otros parámetros como: dosis debida al Rn-222, temperatura, presión y humedad en tiempo real (Figura 1).



**Figura 1.** Equipo Alpha Guard PQ 2000 PRO.

El estudio de campo comprendió las siguientes etapas:

**Etapas 1:** Evaluación de la zona de estudio, identificando los poblados más representativos y su ubicación (coordenadas GPS) respecto a la zona de exploración minera y las condiciones meteorológicas, tales como: temperatura, presión atmosférica, humedad y altitud. Se eligieron 10 puntos de monitoreo, tomando como punto 10 el distrito de Macusani como base de referencia.

**Etapas 2:** Medición de la exhalación de radón

(suelos) por una hora en los puntos de muestreo.

Los valores de exhalación de radón en suelos ( $\text{Bq/m}^2 \cdot \text{h}$ ) y de la actividad de radón en aire ( $\text{Bq/m}^3$ ) se llevó a cabo en un área aproximada de  $600 \text{ m}^2$  por punto de muestreo, utilizando colectores de  $6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  adaptados al sistema Alpha Guard.

**Etapas 3:** Mediciones de tasa de exposición (nR/h) en cada uno de los puntos establecidos, utilizando el monitor de radiación marca Technical Associates modelo TBM-3 (Figura 2).



**Figura 2.** Mediciones de tasa de exposición (nR/h).

## 3. Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se muestran los lugares de medición, así como la de otros parámetros considerados: altitud, coordenadas geográficas, exhalación de radón del suelo ( $\text{Bq/m}^2\text{h}$ ), actividad de radón en aire ( $\text{Bq/m}^3$ ), tasa de dosis ambiental (nR/h). En la Tabla 2, se observan los valores promedio de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad (%) y presión atmosférica (mbar).

En la mayor parte de los 10 puntos de monitoreo establecidos no hay poblaciones cercanas ni ganado, salvo en Macusani, Corani e Isivilla.

En los puntos de monitoreo 2, 7 y 8 correspondientes al Cerro Puchini, Río Chaconiza y Plataforma Minera Frontera se hallaron valores de 239.36, 86.592, 5062.656 ( $\text{Bq/m}^2\text{h}$ ) que representan los niveles más elevados de exhalación de Radón 222, lo cual es consecuente con los resultados de actividad en aire en un área de  $600 \text{ cm}^2$ . Estos lugares se encuentran despoblados. El punto 10, Distrito de Macusani, presenta valores de emanación de suelo del orden de 4.292

Bq/m<sup>2</sup>h y en el aire correspondiente al área de 600 cm<sup>2</sup>, de 53.65 Bq/m<sup>3</sup>.

El estudio se ha realizado monitoreando emanación de radón en suelo para lograr obtener concentraciones, habida cuenta que el radón se disipa en ambientes abiertos, razón por la cual, no fue necesario realizar mediciones en aire, a 1.5 metros de altura.

Se demuestra la constitución geológica uranífera en la mayoría de los lugares monitoreados.

#### 4. Conclusiones

Se evidencia concentraciones de Radón 222, debido a la exhalación del suelo, en niveles naturales, en los puntos de medición.

#### 5. Referencias

- [1] Organismo Internacional de Energía Atómica. Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación. Colección Seguridad N° 115. Viena: OIEA; 1997.
- [2] International Atomic Energy Agency, Radiation monitoring in the mining and milling of radioactive ores. Safety Series N° 95. Vienna: IAEA; 1989.
- [3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de Protección Radiológica. Lima: IPEN; 1997.

**Tabla 1.** Ubicación de los puntos de monitoreo de radón.

Ubicación	Altura msnm	Coordenadas		Exhalación de radón del suelo Bq/m <sup>2</sup> h Promedio	Actividad radón en aire Bq/m <sup>3</sup> Promedio	Tasa de dosis nR/hr Promedio
1 Río Macusani entrada (5 km)	4398	0350311	8441736	28.048	350.60	0.05
2 Cerro Pichuni	4711	0336149	8440358	239.36	2992.00	0.10
3 Plataforma Solex 1	4686	0339893	8439208	59.136	739.20	0.06
4 Riachuelo Camino Macusani	4525	0341029	8438156	29.824	372.80	0.05
5 Plataforma Solex 2	4482	0331716	8463469	6.512	81.40	0.07
6 Plataforma Global SAC	4576	0330206	8455028	28.512	356.40	0.07
7 Campamento IPEN, Río Chaconiza	4352	0320599	8456272	86.592	1082.40	0.06
8 Plataforma minera Frontera	4642	0322661	8461598	5062.656	63283.20	0.15
9 Río Macusani salida (5 km)	4370	0340069	8454339	22.56	282	0.05
10 Distrito de Macusani	4338	0345684	8443508	4.292	53.65	0.06

**Tabla 2.** Mediciones de temperatura (°C), humedad (%) y presión promedio en los puntos de medición de radón.

Puntos de Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura Promedio (°C)	15.6	24.2	18.3	13.7	9.36	22.1	20.2	3.34	22.2	21.3
Humedad Promedio (%)	26.9	13.2	13.8	32.6	36.7	26.8	30.7	74.4	29.5	23.5
Presión promedio (mbar)	802	800	801	802	803	801	801	804	801	801

## Desacondicionamiento de fuentes selladas en desuso colocadas en matrices de cemento

Mario Mallaupoma<sup>1,\*</sup>, Yuri Hernández<sup>2</sup>, Luis Huatay<sup>3</sup>, Walter Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup>Dirección de Investigación, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>3</sup>Dirección de Instalaciones, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

Una opción para colocar las fuentes selladas en desuso, con fines de disposición, consiste en acondicionarlas en matrices de cemento para tener barreras múltiples; es decir, poner en práctica el principio de defensa en profundidad. Este criterio fue aplicado en el Centro Nuclear RACSO; sin embargo, ante un proyecto de repatriación de fuentes selladas en desuso de origen americano se ha visto por conveniente enviarlas hacia los Estados Unidos de Norteamérica. Para ello fue necesario el retiro de las fuentes radiactivas que se encontraban en las matrices cementadas. Con ese propósito se desarrolló una operación de retiro de las fuentes radiactivas, cuya labor se vio facilitada debido a que las fuentes habían sido colocadas dentro de su blindaje original, minimizando todo riesgo de contaminación. En el presente documento se presenta el trabajo desarrollado para lograr el retiro de las fuentes radiactivas con sus blindajes originales en condiciones seguras.

### Abstract

One option for the disused sealed sources for disposal purposes is to put them in cement matrices in order to have several physical barriers. The principle of defence in depth is put in practice. This criteria was applied at the Nuclear Research Center RACSO, however, recently the U.S.A. Government has implemented a project for the repatriation of American disused sealed sources. It means that all disused sealed sources will be disposed as radioactive waste in the United States of America. Taking in account the respective project, it was necessary to take out the sealed sources from the matrix of cement. A safe operation was developed and this was facilitated because all disused sealed sources had been placed with their original shield. The risk of contamination was reduced considerably for that reason. The present paper shows the work developed to take out all disused sealed radioactive sources with its original shields in a safe manner.

### 1. Introducción

Las fuentes selladas en desuso son colocadas en matrices de cemento, en cilindros de 200 litros de capacidad con el propósito de aumentar un mayor número de barreras físicas. Las fuentes radiactivas colocadas en sus blindajes originales evitan el riesgo de irradiaciones excesivas de los trabajadores en general. El diseño y fabricación de los blindajes que contienen fuentes selladas se hacen considerando la máxima actividad a contener [1]. Con el tiempo, las fuentes radiactivas van decayendo por lo que el blindaje pudiera quedar sobredimensionado o en todo caso los niveles de tasa de dosis van disminuyendo. Debido a que no se cuenta con

una celda caliente diseñada para retirar las fuentes selladas de su blindaje original, por medida de seguridad, se consideró que las fuentes se mantuvieran dentro de su blindaje original y adicionalmente fueran colocadas en matrices de cemento en contenedores cilíndricos de 200 litros de capacidad [2]. La puesta en práctica de un nuevo concepto del gobierno americano, que consiste en repatriar las fuentes selladas en desuso fabricados en ese país ha permitido replantear el concepto aplicado anteriormente en el Centro Nuclear RACSO. En este caso se ha considerado por conveniente que las fuentes selladas en desuso, caracterizadas como desechos

\* Correspondencia autor: mmallaupoma@ipen.gob.pe

radiactivos, puedan ser repatriadas hacia los Estados Unidos de Norteamérica.

## 2. Procedimiento experimental

El trabajo fue desarrollado en forma conjunta por personal del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) y del Laboratorio Nacional de Los Alamos (LANL). El procedimiento aplicado no solo cumple con las exigencias de seguridad radiológica del Perú, sino también del Departamento de Energía de los Estados Unidos de Norteamérica [3].

El plan de trabajo comprendió los siguientes aspectos:

Revisión y acopio de la documentación disponible sobre las fuentes acondicionadas, para verificar que las fuentes estuvieran dentro de su blindaje original.

Posteriormente, se siguió procedimientos para minimizar la cantidad de concreto presente que debía ser removido de los cilindros.

Establecimiento de las áreas de trabajo:

Para contrarrestar la generación de polvo se ubicó un área de trabajo con buena ventilación, dentro de la planta de gestión de residuos radiactivos del Centro Nuclear RACSO. Ello garantizaba una labor teniendo en cuenta aspectos de seguridad industrial y seguridad radiológica.

El área de trabajo usada para el proceso de descondicionamiento debería ser un lugar abierto, con un piso sólido y bien pulido. Un lugar abierto permitirá al personal alejarse de la fuente radiactiva, cuando no estuviera participando directamente en el proceso y ponerse a buen resguardo si fuera necesario.

Un plástico (PVC) de 5m x 5m se desplegó en la superficie de trabajo fijada en el piso, para facilitar el retiro de cemento desprendido.

Establecimiento de las condiciones radiológicas en el área de trabajo previas al descondicionamiento. Se hicieron mediciones de tasa de dosis para ver la intensidad del campo de radiación. En casi todos los casos, estos niveles fueron menores a 10 uSv/h a un metro de distancia del bulto, debido a que todas las fuentes radiactivas se encontraban dentro de su blindaje original.

Se realizó un monitoreo radiológico del área de trabajo para verificar la presencia de contaminación y medir las tasas de dosis antes de iniciar el proceso de descondicionamiento. Esta actividad fue realizada en forma permanente por los Oficiales de Radioprotección.

Se realizaron mediciones en la superficie de los bultos para determinar algún tipo de contaminación superficial inaceptable.

Se realizaron mediciones de tasa de dosis en los bultos, los valores mayores encontrados nos indicaban la ubicación aproximada de las fuentes radiactivas con sus contenedores.

Se aplicaron acciones que coadyuvaron con la aplicación del principio de optimización; es decir, que las dosis fueran tan bajas como razonablemente fueran posible de alcanzar. Algunas de estas acciones que se pueden mencionar son:

Disposición de contenedores en forma adecuada y caracterizada para su correspondiente descondicionamiento.

Uso de un equipo de izaje apropiado para ubicar los cilindros en el área de trabajo.

Bloqueo del cilindro para mantenerlo estabilizado durante el proceso de descondicionamiento.

Retiro de la cobertura metálica externa de los cilindros:

Usando la sierra circular con la hoja de corte metálica y a una profundidad adecuada se cortó la capa metálica y levemente el concreto subyacente; primero, los lados correspondientes a las bases y posteriormente un corte transversal para retirar la cubierta metálica (Figura 1).

Se aseguró que el personal use la indumentaria de seguridad apropiada antes de iniciar el corte (delantal de cuero, guantes de cuero, camisa de manga larga, botas de punta de acero, protectores de cara completa).

Remover la tapa del cilindro.

Se debe considerar un área de trabajo libre de todo material inflamable para evitar el riesgo de incendio; asimismo, se debe disponer de extintores. Igualmente, el personal deberá contar con protectores de oído.



**Figura 1.** Procedimiento de cortes en las bases del cilindro.

Se procedió al corte del cilindro desde la tapa hasta la base siguiendo las líneas pre-marcadas longitudinalmente (Figura 2). Luego, se repitió la operación anterior, pero desde el lado opuesto al primer corte.



**Figura 2.** Retiro de tapas laterales de cilindro y abertura transversal.

Puede ser necesario cortar la base del cilindro para remover la capa metálica externa. Este corte puede ser circunferencial o recto entre los dos cortes existentes a los lados del cilindro. Los bordes afilados y dentados del corte van a estar presentes, se debe evitar manipular estas superficies mientras se retira la capa metálica externa.

Una vez concluido el corte, golpear la superficie metálica del cilindro para liberar la masa de concreto y retirar la capa metálica.

Remover la cobertura metálica, una pata de cabra o barreta puede ser usada para realizar esta tarea.

#### Remoción del concreto de las fuentes

Las barras de acero reforzado algunas veces son usadas para mantener las fuentes acondicionadas en su lugar.

Usando una sierra circular con hoja de corte para concreto se estableció la profundidad de hoja a 1" (2.5cm). Esta medida está basada en el conocimiento disponible sobre la ubicación de las fuentes en el cilindro.

La cuña de corte debe estar firmemente sujeta, para obtener la máxima profundidad de corte con máxima superficie de contacto entre la cuña y la base para asegurar que la mayor cantidad de fuerzas de corte sean aplicadas. Usando una comba pequeña, insertar la cuña en el concreto siguiendo las marcas y cortando abajo o arriba de la ubicación aproximada de las fuentes (Figura 3).



**Figura 3.** Retirando el material de cemento con indumentaria de seguridad.

Colocar una cobertura plástica con una abertura para la cuña, sobre el cemento para minimizar la caída de las esquirlas.

Durante el desacondicionamiento del concreto (rotura) se debe tomar las precauciones necesarias para minimizar el presencia de las esquirlas.



**Figura 4.** Colocación de cobertura plástica para recojo de material cementado.

Usando una comba grande golpear la parte superior de la cuña para cortar el concreto. Repetir la operación anterior tantas veces como sea necesaria hasta separar el concreto de los dispositivos o fuentes. Si la calidad del concreto permite romperla golpeándolo directamente, hacerlo con una cobertura de plástico, ello ayudará en la separación del cemento (Figura 4). Se debe buscar que el cemento desprendido caiga en la cobertura plástica.



**Figura 5.** Monitoreo de fuentes contenidas en su blindaje original.

Si se emplearon barras de acero reforzado durante el acondicionamiento, usar la sierra circular con la hoja para cortar metales, a una profundidad que permita el corte de las barras.

Una vez que los dispositivos o las fuentes fueron extraídas, volver a realizar el monitoreo radiológico del área (Figura 5).

Examinar los dispositivos, contenedores o medidores para determinar el modelo y el tipo de usando la dimensiones físicas o los datos de placa si es que estuviera disponible (Figura 6).



**Figura 6.** Traslado e identificación de fuentes radiactivas.

Las fuentes radiactivas liberadas serán colocadas sobre una parihuela, para su acondicionamiento posterior en bultos especiales para su transporte y disposición final en un repositorio para desechos radiactivos (Figura 7).



**Figura 7.** Fuentes radiactivas liberadas para ser acondicionadas en bultos especiales.

Limpiar el área de trabajo luego de cada operación realizada y medir las tasas de dosis existentes.

### 3. Resultados

Se ha logrado remover las fuentes selladas en desuso colocadas en matrices de cemento dentro de cilindros metálicos de acero al carbono de 200 litros de capacidad.

El procedimiento aplicado para el retiro de las fuentes selladas en desuso demostró su efectividad, habiéndose realizado toda la operación sin accidente alguno y una dosis

recibida por el personal operador menor a 1 mSv lo cual resulta ser un valor bastante bajo si lo comparamos con los límites autorizados reglamentariamente.

#### 4. Conclusiones

Las fuentes ubicadas en matrices de cemento fueron retiradas en forma segura.

Las fuentes selladas en desuso se mantienen dentro de sus blindajes originales, en todos los casos.

El registro histórico de las fuentes radiactivas selladas resulta ser fundamental en este tipo de trabajo, debido a que facilita su identificación y caracterización.

El trabajo en equipo desarrollado por personal del IPEN y del Laboratorio Nacional de Los Alamos se ejecutó en forma exitosa considerando aspectos de seguridad física, seguridad industrial y seguridad radiológica.

#### 5. Bibliografía

- [1] International Atomic Energy Agency. Handling, conditioning and storage of spent sealed radioactive sources. IAEA-TECDOC-1145. Vienna: IAEA; 2000.
- [2] Mallaupoma M. Conditioning of sealed disused sources at the Nuclear Research Center RACSO. Technical Report PGRR-2007. Lima; 2009.
- [3] Laboratorio Nacional de Los Alamos (LANL) De-conditioning of sources from concrete conditioned. Peruvian mission 2009.

## Recuperación del Americio 241 de los pararrayos por tratamiento químico

Walter Cruz<sup>1,\*</sup>, Eduardo Cunya<sup>1</sup>, Tommy Pretel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Planta de Gestión de Residuos Radiactivos, IPEN, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú

### Resumen

Alrededor del 95% de los pararrayos instalados en el territorio peruano tienen fijados, en sus estructuras, pequeñas cantidades de fuentes radiactivas como el Americio-241 ( $^{241}\text{Am}$ ), y en menor número Radio-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) que son emisores alfa y que tienen una vida media de 432 y 1600 años, respectivamente. Este trabajo describe la recuperación de la fuente radiactiva de  $^{241}\text{Am}$  proveniente de los pararrayos radiactivos empleando el método de tratamiento químico con agentes ácidos. Las fuentes recuperadas serán usadas como generador de partículas alfa para el análisis de muestras mediante Fluorescencia de Rayos X.

### Abstract

About 95% of the lightning rods installed in the Peruvian territory set out in their structures pose small quantities of radioactive sources such as Americium-241 ( $^{241}\text{Am}$ ), and fewer Radium 226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) which are alpha emitters and has a half life of 432 and 1600 years, respectively. This paper describes the recovery of radioactive sources of  $^{241}\text{Am}$  radioactive lightning rods using the method of chemical treatment with acid agents. The sources will be recovered as a source of alpha particle for XRF analysis.

### 1. Introducción

Los pararrayos convencionales son conocidos como "Pararrayos Franklin", estos pueden ser de una o varias puntas siendo los más usados las bayonetas de un sola punta y los tetrapuntuales.

Para incrementar la eficiencia del pararrayo convencional se le añade una pastilla sellada emisora de partículas alfa, esta clase de pararrayos ha sido comercializado desde las décadas de los años 70 y 80. Sin embargo, nuevos estudios demostraron que el comportamiento de los pararrayos radiactivos no es superior a los convencionales tomando en consideración la protección de los trabajadores, su uso tampoco se justifica por el posible incremento de accidentes asociados con el uso de fuentes radiactivas.

El funcionamiento de estos pararrayos radiactivos consiste en el ingreso del aire a la cámara de ionización en la cual es impactado por las partículas alfa que emite el  $^{241}\text{Am}$  y provoca la ionización de sus moléculas en forma constante, luego por el efecto turbina se forma un campo semiesférico ionizado altamente conductivo. La fuente de  $^{241}\text{Am}$  está depositada en una lámina metálica de oro o plata y que también puede ser una aleación de platino y paladio.

De acuerdo con el inventario general de fuentes radiactivas hay más de 1000 pararrayos radiactivos en el Perú [1].

Los principales objetivos del trabajo técnico son la obtención del  $^{241}\text{Am}$  partiendo de las láminas radiactivas que se encuentran en los pararrayos y que a su vez permita, en el futuro, su reutilización como fuente radiactiva para la construcción de un espectrómetro de rayos X portátil, también la reducción de los desechos radiológicos.



Figura 1. Pararrayos radiactivos almacenados en la PGRR.

### 2. Caracterización

La actividad presente de las fuentes de  $^{241}\text{Am}$

\* Correspondencia autor: [wacruz@ipen.gob.pe](mailto:wacruz@ipen.gob.pe)

en los pararrayos radiactivos se relaciona con la zona de protección requerida y puede variar desde 1 a 5 mCi. Actualmente, se tiene almacenados en la Planta de Gestión de Residuos Radiactivos (PGRR) láminas de  $^{241}\text{Am}$  con una actividad promedio de 2.38 mCi.

Las dimensiones de las láminas de  $^{241}\text{Am}$  son en promedio de 4.5 cm de ancho, 2.0 cm de largo y 1 mm de espesor.



Figura 2. Pararrayo radiactivo marca THOR.

Tabla 1. Características radiológicas de los radioisótopos usados en los pararrayos.

Radioisótopo	Vida media (años)	Energía Alfa (keV)
Am-241	1,600	5486
Ra-226	440	4784

Tabla 2. Características de las fuentes de  $^{241}\text{Am}$  utilizadas.

Marca	Modelo	Serie	Actividad	
			(GBq)	(mCi)
THOR	T-100	257	0,55	1,92
THOR	T-100	288	0,55	1,92
THOR	T-100	289	0,55	1,92
<b>Total</b>			1,65	5,76

### 3. Procedimiento

- Retiro de los portadores de láminas de los pararrayos.
- Retiro de las láminas conteniendo el  $^{241}\text{Am}$  de los portadores.
- Selección visual de las láminas de  $^{241}\text{Am}$  (se descartó aquellas que estaban corroidas y oxidadas).
- Descomposición de las láminas de  $^{241}\text{Am}$  por calentamiento en medio ácido con  $\text{HNO}_3$  5.0 mol/L (50 mL).
- Remoción por gravedad y lavado con  $\text{HNO}_3$  5.0 mol/L del residuo resultante.
- Adición de  $\text{HCl}$  0.5 mol/L a la solución remanente (hasta la precipitación total de

plata).

- Remoción por gravedad y lavado con  $\text{HCl}$  0.5 mol/L del precipitado.
- Evaporación total de la solución.
- Disolución con agua purificada hasta 5.0 mL del residuo resultante.



Figura 3. Láminas de Am-241 con sus Portadores.

### 4. Aplicación

Esta actividad posibilitó la producción de una fuente de excitación para su adecuación posterior en un espectrómetro(s) de Fluorescencia de Rayos X [2], que normalmente emplea una actividad típica entre 1 a 10 mCi, rango de acuerdo con el usado en espectrómetros portátiles de FRX.

La fuente de  $^{241}\text{Am}$  recuperada debe tener un espesor fino para que la partícula cargada cruce a través de la fuente sin pérdida significativa de energía. La técnica de electroplateado o electro deposición hace posible preparar un depósito uniforme y de espesor fino con buena adherencia en una forma rápida y segura.



Figura 4. Solución de Am-241.

Por poseer una gran electronegatividad, los actínidos pueden depositarse como metal de forma incompleta usando soluciones acuosas, pero parcialmente en cátodos de mercurio. La electrolisis en un cátodo de mercurio es eficiente para remover impurezas como cromo, cobre, hierro, manganeso, plomo, plata y cinc desde una solución de cloruro de Americio (III). La literatura científica reporta

la electro deposición de películas adherentes de hidróxido de Americio desde sales de cloro en cátodos inertes. Rendimientos alrededor de 80% a 100% fueron obtenidos usando diferentes cantidades de ácido; sin embargo, el mejor resultado fue alcanzado con una solución de cloruro de amonio 5 mol/L con un rendimiento de 92% [3].

## 5. Evaluación

Con el presente método se alcanza el mayor rendimiento de  $^{241}\text{Am}$  de acuerdo con el proceso descrito, buscando una optimización de los distintas variables y parámetros del proceso como son la diferencia de potencial aplicada a la celda de electrodeposición, la intensidad de corriente inicial establecida por la fuente de alimentación, la temperatura de la solución, tiempo de descomposición y cantidad de agente ácido.

Para cuantificar la cantidad de  $^{241}\text{Am}$  recuperado será necesario realizar un análisis de espectrometría a la solución resultante con el detector de espectrometría alfa. Con ello se establecerá el rendimiento de la recuperación de dicha fuente.

Los procedimientos de trabajo se desarrollan de acuerdo con la supervisión del oficial de radioprotección de la División de Gestión de Residuos Radiactivos.

## 6. Precauciones

### 6.1 Contaminación externa

En caso de manipulación inadecuada de las láminas metálicas que contienen el material radiactivo.

### 6.2 Manipulación

Los procedimientos deberán ser realizados por personal de laboratorio licenciado evitando el contacto directo (usar guantes). Asimismo, no se deberá tocar las láminas metálicas fijadas a los discos que contienen el material radiactivo.

En caso de ingestión o inhalación total por la pérdida de la hermeticidad de la fuente radiactiva, la dosis interna será elevada.

## 7. Resultados

Descripción del ensayo; Análisis de Radiactividad por Espectrometría Gamma

según la Norma Estándar ANSI N42.14-1991 con una incertidumbre expandida (IE) del 95% y un factor de ponderación  $K=2$  [4].

**Tabla 3.** Resultados obtenidos de ensayo de radiactividad.

No	Código Muestra	Radio Nucleido	Actividad Promedio	Unidades
01	M1010-019 Vial 20 ml	Am-241	1.2E+04	Bq/ml
02	M1010-021 Plancheta	Am-241	9.6E-01	Bq

## 8. Conclusiones y Recomendaciones

Se debe establecer una normativa o reglamento que obligue a las instituciones a nivel nacional, sobre todo a las privadas, la proscripción para el uso de pararrayos radiactivos por los problemas radiológicos expuestos.

La recuperación de  $^{241}\text{Am}$  por tratamiento químico es una muy buena opción para la reutilización adecuada y segura en la espectrometría de rayos-X.

## 9. Referencias

- [1] Díaz María. Inventario de pararrayos. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe No. 017-2004-SERA-PGGR-MADP. Lima: IPEN; 2004.
- [2] Cunya E, Munive M, Olivera P. Evaluación y caracterización de una fuente de Am-241 usada como generador de partículas alfa para el análisis por emisión de rayos-x característicos. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN; 2009. p. 14-18.
- [3] Araujo VP, Sousa ASF, Brandao LEB. Preparation of excitation sources to portable x-ray spectrometer by recovering  $^{241}\text{Am}$  from radioactive lightning conductor. En: International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2007. Associação Brasileira de Energia Nuclear (ABEN). 2007 Sep 30 - Oct 5; Santos SP, Brazil.
- [4] Osoreo José. Informe de ensayo de radiactividad No. SI (290-291)-2010-PROA. Laboratorio de Centelleo Líquido, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Lima.

## Films radiocrómicos como dosímetros de rutina

Marco Linares<sup>1,\*</sup>, Liz Villanueva<sup>2</sup>, Johnny Vargas<sup>1</sup>, Mónica Vivanco<sup>1</sup>, Emma Castro<sup>1</sup>, Daniel Alama<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dirección de Servicios/Dirección de Aplicaciones, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Programa Nacional de la Mosca de la Fruta. Servicio Nacional de Sanidad Agraria, SENASA, Av. La Molina S/N, Lima 12, Perú

### Resumen

Los films radiocromicos usados para hacer las películas dosimétricas, tienen en su gran mayoría como base a un polímero de pararosanilina cianuro, el cambio de color debido a su exposición a un campo de radiación es de un claro transparente hasta tonos oscuros de púrpura con una mayor exposición a las fuentes de radiación ionizante. El cambio en la óptica de la absorbancia de este tipo de películas se puede medir en un espectrofotómetro estándar de un solo haz digital, a una longitud de onda que puede variar entre 600-675 nm durante todo el rango de uso. Este tipo de films son ideales para rayos gamma, haz de electrones, rayos X y son comúnmente usados como dosímetros de rutina en diferentes campos de aplicación de la irradiación industrial. El objetivo principal del presente trabajo es realizar los primeros estudios comparativos y de intercalibración de este dosímetro tanto en su respuesta y en las mejores condiciones de medición, comparado con un sistema dosimétrico estandarizado como el Fricke.

### Abstract

The films used to make radiochromic dosimetric films, the vast majority are based on polymer pararosanilina cyanide, color change due to exposure to a radiation field, is a clear transparent to dark purple with a greater exposure to sources of ionizing radiation. The change in optical absorbance of these films can be measured in a spectrophotometer by a standard digital single beam at a wavelength that can vary from 600-675 nm over the range of use. Films of this type are ideal for gamma rays, electron beam, X-ray and are commonly used as routine dosimeters in different fields of application of the industrial irradiation. The main objective of this study is to conduct the first comparative studies or dosimeter that intercalibration of both in their response and in the best conditions of measurement, compared with a standardized system such as the Fricke dosimetric.

### 1. Introducción

Existen diferentes razones para realizar una dosimetría en los procesos de irradiación, ya sea porque son regulados, forman parte de los procedimientos de calidad o porque se trata de un requisito legal, pero en definitiva lo importante del proceso de dosimetría es que nos brinda información muy cercana sobre la dosis que ha absorbido un determinado producto. En otros casos, sirve de ayuda para aumentar la escala de un proceso del nivel de investigación a nivel industrial.

Gran parte de estos requisitos se aplican al caso de la Técnica de los Insectos Estériles (SIT por sus siglas en inglés). Esta técnica consiste en exponer insectos machos criados en laboratorio, en una fase apropiada de su desarrollo, a una dosis de radiación ionizante suficiente para esterilizarlos [1].

Debido a la trascendencia de esta aplicación se debe garantizar que la dosis entregada para este fin, cumpla con los objetivos trazados; por esta razón, la dosimetría de los insectos que han sido irradiados cobra importancia para los productores agrícolas, los reguladores agrícolas, los funcionarios de salud pública y el público en general.

La selección de un adecuado sistema de dosimetría depende de varias consideraciones, incluyendo rango de dosis de interés, la precisión y la facilidad de medición, los conocimientos técnicos disponibles, los factores ambientales que puede ser importante en el lugar de uso, el costo y la incertidumbre que es coherente con el proceso [2,3].

---

\* Correspondencia autor: mlinares@ipen.gob.pe

Teniendo en cuenta estos factores, el sistema de dosimetría de los films radiocromicos, brinda información muy rápida de la dosis absorbida con una facilidad relativamente simple y es de bajo costo. El dosímetro es una pequeña película delgada ( $1 \times 1 \text{ cm}^2$ ) de aproximadamente 100 micras, la cual cambia de color bajo un campo de radiación. Este cambio depende de la dosis absorbida y se mide en un equipo de espectrofotometría simple en el rango de luz visible.

La dosimetría de estas películas ha sido diseñado para su empleo con rayos gamma, rayos X, electrones, protones, haces de iones, las partículas alfa y los neutrones y se puede utilizar para medir y mapear las fuentes de todo tipo de radiaciones.

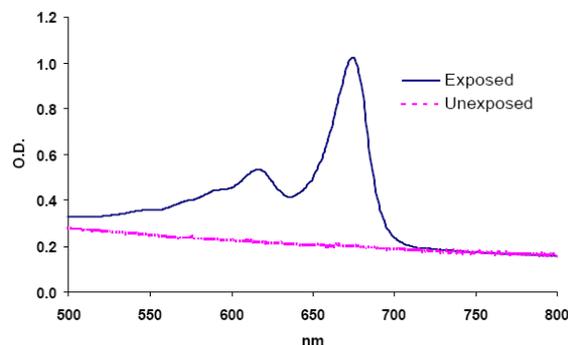
El componente activo en los films Gafchromic® es un compuesto monomérico con un tamaño de partículas del orden de sub-micrones. Cuando la película es expuesta a las radiaciones ionizantes, una reacción de polimerización se inicia, lo que resulta en la producción de un polímero colorado (color azul). La cantidad de polímero producido y la profundidad del cambio de color es proporcional a la dosis absorbida en la capa activa. A pesar que la dosimetría de este sistema puede ser utilizado para diversos tipos de radiación, incluidos los electrones, los procedimientos descritos en este documento se limitan a la radiación gamma emitida por el Co-60.

El cambio de color en la películas de Gafchromic® se llegaron a medir en un espectrofotómetro de UV-VIS y un colorímetro de rango visible. Sin embargo, la mejor respuesta se obtiene con los instrumentos que miden la luz roja en longitudes de onda en el rango de la absorbancia del pico de color azul; es decir, cerca de 670 nm, como es el caso de The Radiachromic® reader FWT-92 [5,7].

## 2. Experimental

El trabajo se realizó con dosímetros Gafchromic® y se midieron en dos diferentes equipos de espectrofotometría; el primero, en un Perkin Elmer Lambda 2 de doble haz digital UV-VIS (IPEN) y el segundo en un colorímetro FWT-92 del SENASA que puede leer a 02 longitudes de onda; 510 y 600 nm; para este caso solo se utilizaron las lecturas

realizadas a 600 nm. Según las recomendaciones de [11] para otro tipos de espectrofotómetros se debe hallar la longitud de onda de trabajo (Scan).



**Figura 1.** Espectro característico de absorción del film dosimétrico, para una muestra irradiada y otra sin irradiar.

### 2.1 Descripción del dosímetro Gafchromic (HD-810) [3].

En la Tabla 1 se muestra la estructura y composición química de los films:

**Tabla 1.** Estructura y composición química de los films.

Material	Thickness (microns)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Composition (atom %)			
			C	H	O	N
Polyester film base	97.00	1.35	45.5	36.4	18.2	0.0
Capa activa	6.50	1.08	31.5	56.0	5.0	7.5
Gelatina	0.75	1.20	23.0	53.0	8.0	16.0

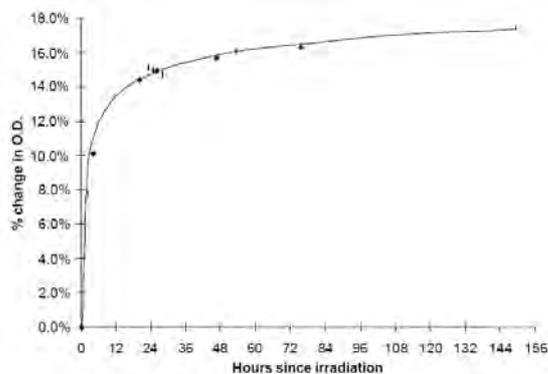
### 2.2. Espectro de absorción

Los espectros de absorción para los dosímetros Gafchromic® para la región de longitud de onda de estudio (500 - 800 nm) se presenta en la Figura 1, la cual muestra los espectros de la película no irradiado, así como los irradiados, los cálculos en el equipo de SENASA se hicieron a 600 nm y en el IPEN a 615 nm y 675 nm [12,13].

### 2.3 Respuesta del film a la irradiación

La película polimérica es incolora y transparente antes de la irradiación y se vuelve de color azul instantáneamente después de la exposición a las radiaciones ionizantes. Pero se observa que existe un cambio en la tonalidad del azul (el color azul se profundiza) ligeramente con el tiempo después de la exposición, y luego va disminuyendo. Después de 24 horas el valor DO se estabiliza en un 15 - 20% aproximadamente, más de su valor inicial (medido a

los pocos minutos después de la exposición). Este comportamiento se ilustra en la Figura 2 para una dosis de 100 Gy.



**Figura 2.** Comportamiento de la lectura (DO) a una dosis de 100 Gy con el tiempo (Datos de los laboratorios de Seibersdorf).

#### 2.4 La luz ultravioleta

No hay medidas extremas que deben adoptarse para proteger el dosímetro película contra la luz ultravioleta; sin embargo, no se debe exponer las películas a la luz solar.

### 3. Metodología

La dosimetría se basa en la norma ISO/ASTM51275-04 Standard Practice for Use of a Radiochromic Film Dosimetry System [8,10] y en Gafchromic dosimetry system for SIT: Standard Operating Procedure [12].



**Figura 3:** Posición de los dosímetros en aire en Gammacell 220 Excel.

Antes de realizar las dosimetrías de inter-comparación entre la dosimetría Fricke y los films dosimétricos se debe ejecutar una prueba dosimétrica en aire de la solución Fricke. Las irradiaciones se realizan en un punto referencial de la cámara de irradiación del equipo Gammacell 220 (Figura 3).

#### 3.1 Dosimetría en el equipo Gammacell 220 Excel

Esta prueba se realizó en el IPEN con el objetivo de verificar si la solución Fricke preparada era estable. Para lograr este paso se irradió un número determinado de dosímetros en el equipo de irradiación Gammacell-220, los tiempos de irradiación fueron de: 15, 25, 35, 45 y 55 segundos, para cada tiempo de irradiación se emplearon 03 dosímetros, manteniéndose la posición de los mismos en el centro de la cámara. Los resultados obtenidos se graficaron y se obtuvo una regresión lineal (Tabla 2). La tasa de dosis experimental es la pendiente de la curva obtenida de tiempo (s) vs dosis (kGy); posteriormente, se compara este resultado con los valores teórico-experimentales del fabricante del Gammacell 220 [6]. La desviación debe ser menor al 3%.

**Tabla 2:** Estadística de la regresión para la Dosimetría Fricke en aire. (06/05/09).

Tiempo (s)	Dosis (kGy)
15	0.04911
25	0.07424
35	0.09920
45	0.12451
55	0.14920
Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.999994133
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.999988265
R <sup>2</sup> ajustado	0.999984354
Error típico	0.000156638
Observaciones	5
Coeficientes	
Intercepción	0.0115922
Variable X 1	0.0025045

Tasa dosis= 9.016232+/- 0.049509 kGy/h

Dosis Nordion= 9.022339 kGy/h

% desviación /Nordion = 0.06769%

#### 3.2 Pruebas de irradiación de los films radiocrómicos

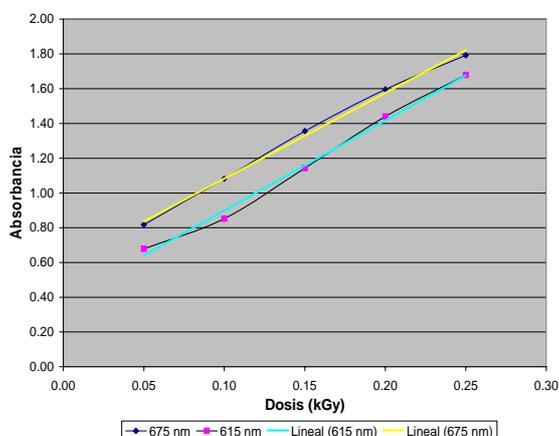
Los films dosimétricos fueron irradiados a los tiempos computados de acuerdo con la dosimetría Fricke, por la bibliografía se procedió a leer los films a 02 longitudes de onda en el espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 2 (615 y 675 nm), las cuales son sugeridas por el fabricante. Los resultados se muestran en la Tabla 3 y 4, y Figura 4, posteriormente se hizo una prueba con un tiempo fijo a una dosis de trabajo de 0.11 KGy, los resultados se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 3:** Estadística de la regresión para la irradiación de films a 615 nm en aire (06/05/09).

Dosis (kGy)	Abs. (615 nm)
0.05	0.678
0.10	0.852
0.15	1.143
0.20	1.440
0.25	1.679
Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9967176
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.9934459
R <sup>2</sup> ajustado	0.9912612
Error típico	0.0073904
Observaciones	5
Coeficientes	
Intercepción	-0.0721509
Variable X 1	0.1917849

**Tabla 4.** Estadística de la regresión para la irradiación de films a 675 nm en aire (17/02/08).

Dosis (kGy)	Abs. (675 nm)
0.05	0.818
0.10	1.082
0.15	1.356
0.20	1.596
0.25	1.792
Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9980488
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.9961013
R <sup>2</sup> ajustado	0.9948018
Error típico	0.0056999
Observaciones	5
Coeficientes	
Intercepción	-0.1188098
Variable X 1	0.2022952



**Figura 4.** Respuesta de dosímetros films radiocrómicos a 02 longitudes de onda.

**Tabla 5.** Resultados de prueba con un tiempo fijo, a una dosis de trabajo de 0.11 KGy.

Longitud de onda	615 nm		675 nm	
	Absorb.	Dosis (kGy)	Absorb.	Dosis (kGy)
Valores obtenidos	0.947	0.1095	1.456	0.1757
	1.037	0.1267	1.249	0.1339
	0.907	0.1018	1.358	0.1559
	0.938	0.1077	1.420	0.1684
	0.811	0.0834	1.281	0.1403
	0.937	0.1076	1.153	0.1144
	0.906	0.1016	1.511	0.1869
	0.96	0.1120	1.408	0.1660
	1.185	0.1551	1.502	0.1850
	0.937	0.1076	1.463	0.1771
0.978	0.1154	1.346	0.1535	
0.964	0.1127	1.646	0.2142	
Promedio	0.959	0.1118	1.399	0.1643

Las siguientes pruebas de intercalibración se realizaron con un espectrofotómetro de marca Farwest modelo 92 del SENASA, a una longitud de onda de 600 nm; los dosímetros Film fueron irradiados en forma conjunta con dosímetros Fricke, en la Tabla 6 se muestran los resultados de la prueba Fricke

**Tabla 6:** Estadística de la regresión para la Dosimetría Fricke en aire para las pruebas en SENASA.

Tiempo (s)	Dosis (kGy)
15	0.0487
25	0.0721
35	0.0975
45	0.1228
55	0.1477
Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9999030
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.9998061
R <sup>2</sup> ajustado	0.9997415
Error típico	0.0006274
Observaciones	0.9999030
Coeficientes	
Intercepción	0.0106285
Variable X 1	0.0024674

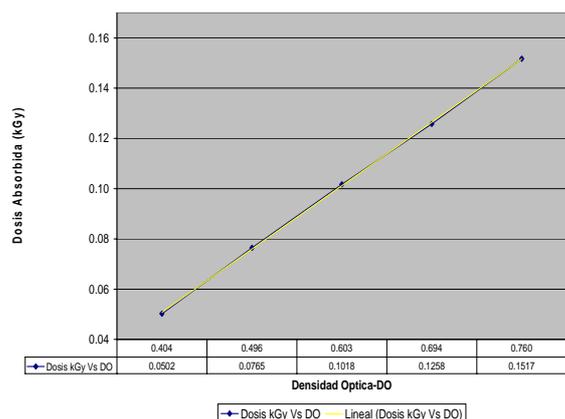
Tasa dosis= 8.957254 +/- 0.199957 kGy/h

Dosis Nordion=9.019090 kGy/h

% desviación /Nordion = 0.68561%

**Tabla 7.** Estadística de la regresión para la Dosimetría Film (DO) vs Dosis Fricke (kGy) en aire para las pruebas en SENASA en equipo Farwest a 600 nm.

Densidad Óptica DO	Dosis (kGy)
0.404	0.0502
0.496	0.0765
0.603	0.1018
0.694	0.1258
0.760	0.1517
Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9969728
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.9939547
R <sup>2</sup> ajustado	0.9919397
Error típico	0.0035818
Observaciones	5
Coeficientes	
Intercepción	-0.0617815
Variable X 1	0.2756971



**Figura 5:** Relación de densidad óptica versus dosis absorbida/kGy (Fricke).

**Tabla 8.** Variación de la respuesta de los Dosímetros Film comparado con la dosimetría Fricke para las pruebas en SENASA en equipo Farwest a 600 nm.

Dosis Fricke	Dosis Films (72 h)	Variación con respecto a Fricke
0.114	0.115	0.73%
0.131	0.123	6.26%
0.136	0.123	9.13%
0.128	0.116	9.34%
0.122	0.110	9.89%
0.129	0.111	13.77%

#### 4. Resultados y Discusión

Las primeras pruebas dosimétricas que se realizaron en el equipo de espectrofotometría del IPEN demostraron que la linealidad es buena a una longitud de onda de 615 nm (Tabla 3 y 4), la respuesta a una dosis teórica de 0.11 kGy, con la curva anterior demostró que la variación es solo de 1.63%, comparada con los resultados a 675 nm cuya variación es de 49% (Tabla 5).

Con respecto a las pruebas realizadas en el SENASA con el espectrofotómetro Farwest se obtuvo una buena linealidad en la respuesta (Tabla 7 y Figura 5) con respecto a la respuesta, los valores de las dosis obtenidas varían desde un 0.73% hasta un 13.77% mayor que el valor experimental de Fricke (Tabla 8), las medidas fueron hechas después de 72 horas.

#### 5. Conclusiones

- De acuerdo con los resultados obtenidos se observa una buena linealidad en la respuesta de los dosímetros films con respecto al de referencia Fricke tanto a 615 nm (equipo del IPEN) como a 600 nm (SENASA).
- Se comprueba que los datos de lectura de los dosímetros films varían su respuesta en función del tiempo.
- La mejor respuesta de los dosímetros film es a 615 nm y en un espectrofotómetro UV-VIS de amplio rango.

#### 6. Recomendaciones

Las lecturas de los dosímetros film dependen mucho del tiempo de espera de lectura después de la irradiación, por lo tanto se recomienda hacer las mismas como máximo en menos de 24 horas.

#### 7. Bibliografía

- [1] Knipling EF. Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterilized males. *Journal of Economic Entomology*. 1995; 48:459-466.
- [2] McLaughlin WL, Hussman EK, Eisenlohr, HH, Chalkley L. A chemical dosimeter for monitoring gamma radiation doses of 1 - 100 krad. *International Journal of Applied Radiation and Isotopes*. 1971; 22:135-140.

- [3] Seo ST. Husman irradiator: Calibration procedure. Internal Report, USDA-ARS, Washington, D.C. 1993.
- [4] Isomedix Inc. Descriptive and operating manual for Husman irradiator Model 521A. Whippany, NJ, 1984.
- [5] Zavala JL, Fierro MM, Schwarz AJ, Orozco DH, Guerra M. Dosimetry practice for the irradiation of the mediterranean fruit fly *Ceratitidis capitata* (Wied). In: International Atomic Energy Agency. High dose dosimetry. Vienna: IAEA; 1985. p. 23-30.
- [6] American National Standards Institute. Safe design and use of self-contained dry storage gamma irradiators (Category I). ANSI N-433.1, American National Standards Institute, 1430 Broadway, New York, NY, USA, 10018, 1978.
- [7] Handbook of Chemistry and Physics, 71st ed., Lide, D. R., ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 1990.
- [8] International Organization for Standardization (ISO). ISO/ASTM 51275:2004. Practice for use of a radiochromic film dosimetry system. Geneva, Switzerland: ISO; 2005.
- [9] Unterweger MP, Hoppes DD, Shima FJ. New and revised half-life measurement results. Nuclear Instruments and Methods Physics A. 1992; 312:349-352.
- [10] Tuli JK. Nuclear data sheets update for A = 137. Nuclear Data Sheets. 1994;72:136.
- [11] Hjortenburg PE, McLaughlin WL. Use of radiochromic dye systems for dosimetry. Proceedings of Regional Conference on Radiation Protection, Jerusalem, March 1973. Published by Israel Atomic Energy Commission, Soreq Nuclear Research Centre, Yavne; 1973. p.122-140.
- [12] International Atomic Energy Agency. Dosimetry system for SIT. Manual for Gafchromic film. Vienna: IAEA, 2004.
- [13] Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), International Electrotechnical Commission (IEC), International Organization for Standardization (ISO), International Organization of Legal Metrology (OIML). Guide to expression of uncertainty in measurement, ISO, Ginebra; 1993.

## Root uptake of Cs-137 by natural grasses as a function of properties of soils

José Osores\*

Laboratorio de Radioecología, División de Protección Radiológica Ocupacional y Ambiental  
Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú

### Resumen

Este trabajo estudia la dependencia de la absorción radicular de Cs-137 en la estructura de un ambiente natural, especialmente sobre las propiedades de suelos, bajo condiciones controladas. Se realizaron investigaciones a varios niveles de contaminación con Cs-137 (de 20 hasta 1000 kBq/m<sup>2</sup>), con cinco tipos diferentes de suelos, los cuales difieren en textura y composición granulométrica. Los resultados muestran que los valores del factor de transferencia de Cs-137 (TF) difieren hasta 5 veces respecto a la cobertura seminatural del pasto. La correlación entre los valores de TF de Cs-137 y la composición granulométrica del suelo fue determinada tanto para suelos minerales automórficos como hidromórficos.

### Abstract

This work studies the dependence of Cs-137 root uptake on the structure of landscape, especially on the properties of soils, under controlled conditions. Researches were carried out at various levels of Cs-137 contamination (from 20 up 1000 kBq/m<sup>2</sup>), with five different types of soils, which differ in texture and granulometric composition. The results showed that transfer factor (TF) values of Cs-137 differ 5 times for the natural grassy coenoses. The correlation between Cs-137 TF values and granulometric composition of soil was determined for both automorphic and hydromorphic mineral soils.

### 1. Introduction

Among the long-living radionuclides, Cs-137 is the most widespread (or prevalent) as a result of nuclear or radioactive accidents and this nuclide plays an important role in the definition of radioecological situation in various countries. It can be considered as a main factor of the internal dose formation (80-95% of total dose) for the population of any radioactively contaminated territory. The dose formation is based mainly on the consumption of agricultural products, especially by the rural population, from radiopolluted lands. Therefore soil-to-plant link is the most important element of the Cs-137 pathway along the food chain.

Nowadays, significant experience exists in field studies and in the estimation of certain factors of the radionuclide root uptake by plants. In fact, the consideration of the radionuclides behavior in soil and their biological availability to plants has been investigated in earlier works [1]. Special attention was also paid to the transfer factor dynamics [2], the influence of soil characteristics [3] and the biological

properties of plants [4]. Consequently, it is possible to assume that the basic mechanisms of the soil-to-plant Cs-137 transfer are well known. However, the researches carried out till now have embraced quite a limited number of natural factors. Therefore, a problem of further parameterization of these natural mechanisms and the specification of existing models is still open.

Taking into consideration the multifactorial character of the soil-plant system in nature, it is necessary to note the lack of data that would allow to allocate the role of separate factors and to estimate the influence of different combinations of the latter as quantitative parameters. In a number of experiments inconsistent data have been received, showing an increase in radionuclides accumulation by plants [5] or their decrease [6].

In nature, the estimation of radionuclides migration mechanisms is to be carried out not only taking into account separate natural factors, but also for complete geoecosystem,

---

\* Corresponding author: josores@ipen.gob.pe

which is an element of the landscape of the investigated territory, with the complete set of relatively stable and variable factors.

In this aspect, the basic task of this work consists in the substantiation of the dependence between Cs-137 root uptake and the structure of a landscape, especially texture and moisture of soils, in artificial conditions.

A landscape is considered as an environment of chemical elements circulation. The soil, as an important landscape component, may be proposed to have a key role in the formation of the migration conditions of radionuclides.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Experimental set-up

In order to estimate the Cs-137 migration parameters in the soil-to-plant link in nature, a referent sampling net was established. The sampling plots were positioned at representative semi-natural coenoses, at various levels of Cs-137 contamination, on typical elements of landscape structure, with different soil varieties, which differ in texture, granulometry and moisture.

During sampling, the landscape characteristic of the experimental plots regarding their position at the relief was carried out. For each of the plots, a soil profile was described.

### 2.2. Analytical methods

Plant samples were dried in air conditions, cut into small pieces and homogenized. Soil samples were also air-dried, pounded and sieved through 1 mm sieve. All samples were put in marinelli cups.

Cs-137 content in soil and plants was determined using the high effective gamma-spectrometer EG&ORTEC, with low background, equipped with a solid scintillation detector BICROM of NaI(Tl) 3x3" (energetic resolution of Co-60 line: 65 keV). The time of detection provided results with reliability more than 10%. The counting error ranged from 2 to 10% depending on the intensity of the measured activity. The concentration of Cs-137 in the samples was expressed in Bq/kg air-dry mass.

### 2.3. Definition of transfer factor (TF)

The soil-to-plant aggregated transfer factor

(TF) was defined as follows [7]:

$$TF = \frac{SAP}{SAS}$$

Where:

SAP: specific activity in plant (Bq/kg dry weight)

SAS: specific activity in soil (Bq/kg dry weight).

TF values of plant samples were averaged for the same soil variety. According to their distribution, the different soil varieties were represented by a minimum of 4 and a maximum of 10 samples.

The conditions of this research have allowed to study in detail the influence of the landscape factors on biological availability of Cs-137 in a soil-plant system separately and in aggregation on a wide range of the contamination density.

## 3. Results and Discussion

The results of this study showed that TF values of Cs-137 for the different soils in various landscapes range from 0.2 for soddy-podzolic loamy soil to 3.7 for non-drained (wet) peat bog soil, showing a difference of 19 times for the natural grassy coenoses.

The correlation between Cs-137 TF values and granulometric composition of soil was determined and shown in Fig.1.

Obtained data on Cs-137 accumulation by grasses in natural coenoses have confirmed that the dependence of TF on the contents of clay is successfully described by the following power function:

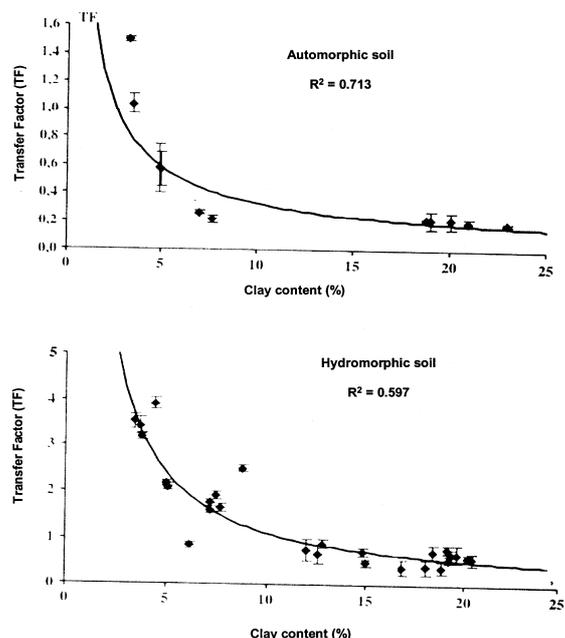
$$TF_{j,i} = TF_0 x G^{-\lambda_j}$$

Where  $TF_{j,i}$  is the transfer factor of radionuclide from i-th soil into j-th crop;  $TF_0$  the possible value of  $TF_{j,i}$ , if  $G=1$ ;  $G$  the content of clay in the soil; and  $\lambda_j$  is the parameter of a degree of dependence for j-th crop.

In fact, in the range of mineral soils (automorphic and hydromorphic) of an identical degree of moisture, Cs-137 TF values significantly differ depending on the soil granulometry.

Cs-137 TF values are consistently reduced in the following order: sandy soils (<10% of

clay) >loamy-sandy soil (10-15% of clay)> loamy soil (> 15% of clay).



**Figure 1.** Correlation between Cs-137 TF values and granulometric composition of soil.

Table 1 shows the average values of Cs-137 transfer factor for the semi-natural coenoses on different soils. As to the influence of the soil hydromorphism (moisture of soil) on Cs-137 root uptake, for soils of the same granulometry, the differences in TF values can reach the order of 5-10%.

The obtained results, allow assuming that the soil hydromorphism influences the TF Cs-137 values via, both, soil structure and botanical characteristic of phytocoenoses.

**Table 1.** Average values of Cs-137 Transfer factor on different soils.

Soil Variety		Transfer Factor (TF)	Uncertainty (K=2)
Organic bog soil	Drained	0.48	0.029
Alluvial soddy soil	Sandy	0.47	0.035
	Loamy	0.22	0.024
Soddy-podzolic soil	Sandy	0.35	0.010
	Loamy-sandy	0.26	0.011
	Loamy	0.12	0.006

#### 4. Conclusions

The approach proposed in this work provides a combination of qualitative and quantitative criteria of evaluation of Cs-137 absorption by plants and shows the dependence between the Cs-137 TF values in grass and the stable

landscape factors, such as texture and moisture of soil, which define to a great extent the fertility of soil.

On the basis of obtained results, it could be assumed that Cs-137 TF values are consistently reduced in the following order of soil varieties: sandy > loamy-sandy > loamy. The correlation between Cs-137 TF values and clay content in soil is described by a power function.

Therefore, such quantitative parameter, as Cs-137 TF value, could be used as a criterion for the estimation of the landscapes radioecological criticality. The revealing of the most vulnerable landscape areas, from the radioecological point of view, will allow to improve their practical use and to define the rational strategy of human interference in the radiopolluted environments.

#### 5. References

- [1] Ehlken S, Kirchner G. Environmental processes affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: A review. *J. Environ. Radioact.* 2002; 58:97-112.
- [2] Prister BS, Barjakhtar VG, Perepelyatnikova LV, Vynogradskaja VD, Rudenko VA, Grytsyuk NR, *et al.* Experimental substantiation and parameterization of the model describing  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  behaviour in a soil-plant system. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2003; 1:126-136.
- [3] Kuznetsov VK, Sanzharova NI, Brovkin VI, *et al.* The Cs-137 intake in agricultural crops from soils differing in the degree of soil development. *Eurasian Soil Sci.* 2000; 33: 96-99.
- [4] Belli M, Tikhomirov F, editores, The behaviour of radionuclides in natural and semi-natural environments. EUR 16531 EN, Luxembourg; 1996.
- [5] Pendetlon R, Uhler R. Accumulation of caesium-137 by plants grown in simulated pond, wet meadow and irrigated field environments. *Nature.* 1960; 185(4714):707-708.
- [6] Ehlken S, Kirchner G. Seasonal variation in soil-to-grass transfer of fallout strontium and cesium and of potassium in North German soils. *J. Environ. Radioact.* 1996; 33:147-181.

## Aspectos operacionales para la repatriación de fuentes de radio-226

Mario Mallaupoma<sup>1,\*</sup>, Hernán Amico<sup>2</sup>, Luis Zapata<sup>3</sup>, Luis Huatay<sup>3</sup>, Luis Cavero<sup>3</sup>,  
Eduardo Carrasco<sup>2</sup>, Carlos Herrera<sup>2</sup>, Jonathan Pacheco<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470,  
Lima 41, Perú

<sup>2</sup>Departamento de Radioterapia, Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, Av. Angamos  
Este 2520, Surquillo, Perú

<sup>3</sup>Dirección de Instalaciones, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470,  
Lima 41, Perú

### Resumen

La disposición final del radio-226 representa un serio problema técnico y económico considerando su período de semidesintegración de 1620 años. Es por ello, y considerando un convenio vigente entre el Perú y los Estados Unidos de Norteamérica se realizó una alianza estratégica a fin de facilitar la repatriación de estas fuentes en desuso, consideradas como desechos radiactivos por el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas. En el presente documento se muestra el trabajo conjunto desarrollado por ambas instituciones, para lograr adecuar a las exigencias técnicas de embalaje y acondicionamiento que permitiera la repatriación de los mismos, con la asistencia y soporte del Laboratorio Nacional de Los Alamos.

### Abstract

The final disposal of radium-226 is a serious technical and economical problem due to its half-life, 1620 years. Considering an agreement between the countries of Peru and the United States held a strategic alliance to facilitate the repatriation of these disused sources, considered as radioactive waste by the Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas. This paper shows the work undertaken jointly, by both institutions, to achieve adapt to technical requirements of packaging and conditioning that would allow their repatriation to the United States, and having the support of Los Alamos National Laboratory.

## 1. Introducción

Las fuentes de radio-226 fueron ampliamente utilizadas en braquiterapia para las aplicaciones médicas. La mayoría de los países del mundo han optado reemplazarlas por otras fuentes radiactivas más efectivas, eficientes y que involucran menor riesgo de contaminación. El Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN) es la entidad del país que tiene el mayor inventario de este tipo de fuentes radiactivas, en muchos casos en desuso.

Las fuentes de radio-226 presentan características que deben tenerse en cuenta para su disposición final y constituye un serio problema técnico, debido a su período de semidesintegración de 1620 años. Debido a ello, el criterio a aplicar según el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) es que sean dispuestos como desechos radiactivos de alta actividad. La construcción de un repositorio de desechos de alta actividad demanda muchas exigencias

técnicas y requiere una gran cantidad de recursos económicos que no podrían ser atendidas por los países en vías de desarrollo.

Es por esta situación que el OIEA viene desarrollando un concepto nuevo que permita atender la disposición final de este tipo de desechos radiactivos en forma segura, siendo una de las opciones la repatriación de las mismas; es decir, el retorno a los proveedores. Actualmente, ningún país en vías de desarrollo ha llegado a implementar la disposición final de fuentes selladas en desuso de Ra-226.

Muchas de las fuentes radiactivas de Ra-226 utilizadas en braquiterapia fueron ingresadas al país hace más de 30 años, y en algunos casos nunca fueron utilizadas, simplemente fueron recibidas por instituciones del Estado sin haberle dado un uso específico. Este tipo de fuentes radiactivas ingresaron como donaciones; sin embargo, también existiría la

---

\* Correspondencia autor: mmallaupoma@ipen.gob.pe

presunción de que ingresaron bajo esa modalidad como una forma de liberarse de este tipo de fuentes radiactivas, consideradas como desechos radiactivos.

La suscripción de un convenio entre los gobiernos del Perú y los Estados Unidos de Norteamérica consideró la posibilidad de hacer la repatriación de los mismos hacia los Estados Unidos. Las instituciones representativas participantes por ambos gobiernos fueron el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) y Los Alamos National Laboratory (LANL). A su vez, el IPEN también consideró hacer extensivo el alcance del convenio a instituciones nacionales como al INEN, que es la entidad que tiene el mayor inventario radiactivo de fuentes de radio-226.

El Ra-226 es parte del decaimiento de la cadena del uranio-238. Decae por emisión alfa a radón-222, un gas noble cuyo período de semidesintegración es de 3,82 días. Cada desintegración de un núcleo de Ra-226 da lugar a un incremento en cinco partículas alfa. De igual manera, se emiten varias partículas beta así como radiación gamma. Los productos de decaimiento del Ra-226 son muy tóxicos y es por ello que el límite anual de incorporación aceptado por la normativa nacional es bajo.

## 2. Procedimiento experimental

La metodología adoptada para realizar el trabajo requerido por la misión del LANL fue concordante con las recomendaciones dadas en las publicaciones técnicas del OIEA[1].

### 2.1 Preparación del plan de trabajo

El Plan comprendió los siguientes aspectos:

- Preparación de un ambiente de trabajo.
- Coordinación técnica con el personal participante en su conjunto.
- Preparación de los materiales y equipos.
- Preparación de la documentación técnica.
- Preparación de fuentes de radio (procedimiento para alcanzar el nivel de actividad requerido por el personal de LANL).
- Preparación y simulación para la manipulación de fuentes de radio (Preparación de las áreas controladas, supervisadas y libres; preparación del equipamiento, materiales y herramientas;

puesta a punto de la instrumentación).

- Procedimientos técnicos de material de embalaje (preparación de cápsulas de acero inoxidable para la colocación de fuentes de Ra-226, preparación de blindajes de plomo y preparación de bultos para ser almacenados).
- Identificación de la actividad depositada en cada cápsula de acero inoxidable. Para cumplir con las exigencias del LANL se montó un subsistema (Figura 1) donde se colocó un detector a 1 m de las cápsulas donde se iban a depositar las fuentes de Ra-226 para medir tasas de dosis de hasta 50 mCi de actividad aproximadamente. Contando con una extensión, las lecturas eran realizadas a 3 metros del subsistema para evitar que el personal se irradie innecesariamente.



**Figura 1.** Subsistema implementado para medir la actividad aproximada en cada cápsula.

- Trabajo de soldadura de cápsulas (ubicación del ambiente de trabajo, selección de equipo de soldadura, personal de operación, preparación y sellado de las cápsulas).

En la Figura 2 se puede visualizar los tipos de cápsulas utilizadas. En este caso, se utilizaron solo las de menor diámetro. También puede observarse el contenedor plomado donde debían ser colocados las diferentes cápsulas conteniendo las fuentes de Ra-226.



**Figura 2.** Cápsulas de acero inoxidable y contenedor de plomo.

- Encapsulamiento de las fuentes de radio. Se montó el subsistema (Figura 2) en donde

puede observarse que se utilizó un embudo para facilitar la colocación de las fuentes de Ra-226 en cada cápsula en la parte inferior para que cayeran directamente por gravedad.

- Se utilizó pinzas largas (Figura 3) a fin de ganar distancia y reducir dosis en forma significativa. Otro parámetro relevante que se consideró fue el tiempo, por esa razón, se consideró la realización de simulacros de las distintas fases de la operación con la finalidad que el personal gane habilidad y destreza.



**Figura 3.** Utilización de telepinzas para ganar distancia.

- Elaboración de un plan específico de radioprotección para el acondicionamiento (controles físicos, análisis de actividades de mayor riesgo, dosimetría personal y medición de contaminación superficial).

- Registro, control y seguimiento permanente de las operaciones. Las mediciones eran realizadas y registradas a 3 m del lugar donde se realizaba el encapsulamiento de las fuentes de Ra-226. Para ello se utilizó un cable de extensión (Figura 4). En esa ubicación los valores de tasa de dosis eran equivalentes al fondo natural.



**Figura 4.** Medición y registro de tasas de dosis a distancia.

## 2.2 Identificación de cápsulas y actividad de las fuentes

Antes del proceso, cada cápsula fue numerada en su correspondiente tapa para evitar problemas durante la soldadura. Se dispuso de un subsistema (Figura 1) utilizando un monitor FAG FH40F4 con sonda versátil de hasta 12 metros. Se hicieron los cálculos previos considerando el factor gamma de una fuente de Ra-226 y con un criterio conservador, asumiendo que se comportaba como una fuente puntual. Contando con una extensión, las lecturas eran realizadas a aproximadamente 3 metros del subsistema con lo que se evitaba que el personal se irradiara innecesariamente.

Al final, se tuvieron cápsulas de acero inoxidable que presentaban una tasa de dosis aproximada a 41 mR/h ó 410 uSv/h. El número de fuentes de Ra-226 contenida en cada cápsula era variable, considerando la actividad que pudiera presentar cada una de ellas, en total cada grupo debía tener aproximadamente 50 mCi según lo requerido por la misión del LANL. Esta exigencia se cumplió en virtud a los límites de actividad que deben de contener los cilindros estandarizados con que cuenta LANL para acondicionar y disponer este tipo de fuentes radiactivas.

## 2.3 Soldadura de cápsulas

Las tapas de las cápsulas de acero inoxidable fueron colocadas utilizando soldadura TIG, en concordancia con las recomendaciones técnicas.

Para el desarrollo de este trabajo se eligió un ambiente donde no hubiera corrientes de aire y permitiera la operación en forma segura. En este caso también se realizaron simulacros previos para ajustar los parámetros a tener en cuenta en el proceso específico de soldadura.



**Figura 5.** Operadores realizando simulación del trabajo en frío.

En la Figura 5 se puede visualizar el simulacro para realizar la operación de traslado de cápsulas al lugar de soldadura. También se puede visualizar el simulacro previo a la operación de soldadura.



**Figura 6.** Colocación de cápsulas en contenedor de plomo.

### 2.4 Almacenamiento de las fuentes de Ra-226

Después de acondicionar las fuentes de Ra-226 en las cápsulas de acero inoxidable, fueron colocadas en blindajes de plomo (Figura 6) y ubicadas en el almacén No. 1 donde permanecen confinadas. El diseño del contenedor ha sido recomendado por el OIEA, para armonizar las medidas técnicas que deben tenerse en cuenta para el acondicionamiento de fuentes de Ra-226. Las acciones realizadas son concordantes con el estado de arte actual para esta actividad.

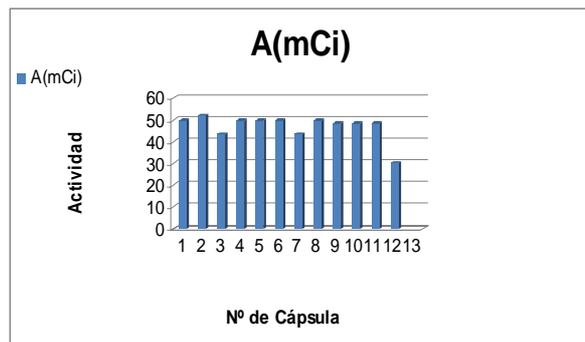
### 3. Resultados

En total se contabilizaron 137 fuentes selladas en desuso de Ra-226, consideradas como desechos radiactivos. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Contenido de fuentes en cada cápsula.

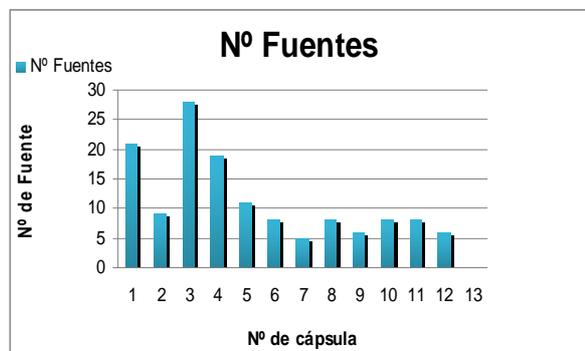
Nº Cápsula	Nº Fuentes	D <sub>2</sub> (μSv/h)	A(mCi)
1	21	410	49,7
2	9	430	52,1
3	28	360	43,6
4	19	410	49,7
5	11	410	49,7
6	8	410	49,7
7	5	360	43,6
8	8	410	49,7
9	6	400	48,5
10	8	400	48,5
11	8	400	48,5
12	6	250	30,3
<b>Total</b>	<b>137</b>		

En la Figura 7 se puede observar la actividad contenida en cada cápsula numerada.



**Figura 7.** Número de cápsula con la actividad de las fuentes radiactivas.

En la Figura 8 se puede visualizar el número de cápsula de acero inoxidable con su número de fuentes de Ra-226, contenidas en cada una de ellas.



**Figura 8.** Cápsulas conteniendo un número de fuentes radiactivas.

Las acciones de control operacional, y por ende, de las consideraciones de seguridad radiológica fueron desarrolladas en forma permanente. Se aplicaron los principios de justificación, optimización y límites de dosis. Se definieron las zonas de área controlada, supervisada y de libre acceso. Se hizo el seguimiento de las dosis para el personal participante, las dosis medidas en los dosímetros personales electrónicos que utilizó el personal dieron valores de 16, 12 y 10 μSv, respectivamente [3].

### 4. Conclusiones

- El IPEN ha brindado un apoyo importante para resolver un problema que tenía el INEN, considerando aspectos sociales, económicos y de seguridad.
- El IPEN en concordancia con su misión ha realizado la transmisión de su *know-how*, en el tema de acondicionamiento de fuentes de Ra-226 en desuso al personal del INEN.
- El trabajo realizado en forma conjunta por personal del INEN e IPEN constituye un hito

histórico, donde se muestra que la cooperación interinstitucional puede ayudar a resolver problemas técnicos nacionales.

- El trabajo conjunto entre personal del IPEN y del INEN, permitió atender las exigencias técnicas para la repatriación de las fuentes, indicadas por LANL

- Los valores de dosis recibida por el personal operador es muy baja, debido a que durante el proceso se puso en práctica los principios de justificación, optimización y límites de dosis.

## 5. Bibliografía

[1] International Atomic Energy Agency. Conditioning and interim storage of spent radium sources. IAEA-TECDOC-886. Vienna: IAEA; 1996.

[2] Mallaupoma M, Guiop L, Cruz W. Acondicionamiento de fuentes selladas en desuso de Ra-226. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2005. Lima: IPEN; 2006. p.175-178.

[3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de Protección Radiológica. OTAN-IPEN. Lima, Perú; 1997.

## Valores satisfactorios de Cesio-137 obtenidos en la prueba de aptitud IAEA-Cu-2007-03 “World Wide Open Proficiency Test on the Determination of Radionuclides”

Edith López\*, José Osoreo, Jorge Martínez, Susana Gonzáles, Raúl Jara

División de Protección Radiológica Ocupacional y Ambiental – Dirección de Servicios  
Instituto Peruano de Energía Nuclear. Avenida Canadá 1470 – Lima 41. Perú

### Resumen

De acuerdo con la norma ISO IEC 17025:2005, la confiabilidad de los resultados emitidos por un laboratorio puede ser demostrada a través de la participación en pruebas de aptitud y ejercicios de intercomparación. En el presente trabajo se muestran los resultados para los valores de Cesio-137 obtenidos por el laboratorio de la División de Protección Radiológica Ambiental y Ocupacional (PROA) del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) en la prueba de aptitud IAEA-Cu-2007-03, organizada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), en la cual se analizaron muestras de agua, suelo y espinaca por espectrometría gamma de alta resolución. En el reporte final emitido por el OIEA, el laboratorio obtuvo resultados dentro del rango de aceptación estipulado.

### Abstract

According to the ISO IEC 17025:2005 Standard, the reliability of the analytical results emitted by a laboratory could be proved by the participation in proficiency tests and intercomparison runs. This paper presents the results for the Caesium-137 values obtained by the Laboratory of the Division of Environmental and Occupational Radiation Protection of the Nuclear Energy Peruvian Institute in the IAEA-Cu-200-03 proficiency test, sponsored and organized by the International Atomic Energy Agency (IAEA), in which samples of water, soil and spinach were analyzed. In the final report emitted by the IAEA, the laboratory obtained results within the established acceptance range.

### 1. Introducción

Los resultados de las mediciones analíticas juegan un rol vital en la competitividad de los laboratorios de ensayo. Los datos analíticos pueden constituir la base sobre la que se toman decisiones de gestión económica, legal o ambiental; son esenciales en comercio internacional, protección ambiental, transporte seguro, soporte legal, seguridad del consumidor y preservación de la salud humana [1].

La participación en ejercicios de intercomparación y pruebas de aptitud permite a los laboratorios contar con información externa, que les permite verificar que su programa de control interno de calidad es lo suficientemente eficaz y, por tanto, asegurar con cierto grado de confianza que no hay márgenes de error en sus resultados diarios.

Estas herramientas constituyen un alto potencial de mejora al obligar al laboratorio, ante resultados no satisfactorios, a poner a

prueba su capacidad para detectar las posibles fuentes de error, como carencias en la calificación del personal, la validación incompleta del procedimiento de ensayo o un error puntual en el funcionamiento del equipo, entre otros.

### 2. Experimental

El Laboratorio de la División de Protección Radiológica Ambiental y Ocupacional participa en ejercicios de intercomparación y pruebas de aptitud organizados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). La más reciente prueba de aptitud en la que se participó fue la IAEA-Cu-2007-03 “World Wide Open Proficiency Test on the Determination of Radionuclides in Spinach, Water and Soil”. Esta prueba estuvo principalmente enfocada en la evaluación del desempeño analítico en la determinación de radionucleidos en diferentes matrices; por tanto, los valores de las muestras de la prueba

---

\* Correspondencia autor: elopez@ipen.gob.pe

de aptitud eran trazables a normas internacionales. La evaluación de los datos también estuvo enfocada en las estimaciones de incertidumbre reportadas por los participantes. El número de muestras, sus interferencias de matriz y los niveles de concentración de los analitos fueron diseñados de tal manera que permitió la identificación adecuada de problemas analíticos potenciales.

Esta prueba de aptitud de ensayos de radiactividad ambiental tuvo como finalidad la identificación de problemas analíticos. La principal tarea de los laboratorios participantes fue la de identificar o cuantificar los niveles de actividad de los radionucleidos presentes en tres matrices diferentes. La tarea del OIEA fue preparar y distribuir las muestras a los laboratorios participantes, recolectar e interpretar los resultados de los análisis y elaborar un reporte total.

La medición de muestras de espinaca, suelo y suelo conteniendo una mezcla de radionucleidos de concentración desconocida (para los participantes) estuvo dirigida a:

- Evaluación del desempeño analítico de los laboratorios participantes de todo el mundo.
- Probar la comparación internacional de las mediciones de radiactividad.
- Promover que los laboratorios participantes apliquen acciones de remediación cuando se detecten errores en el desempeño analítico.

### 3. Resultados

Los resultados que se muestran en el presente trabajo están referidos al Cesio-137, radionucleido de importancia radiosanitaria, que constituye uno de los principales indicadores de presencia de radiactividad artificial en muestras ambientales y de alimentos.

En la tabla 1 se presentan los resultados [2] para Cesio-137 de las muestras evaluadas de acuerdo con el método de ensayo utilizado en el laboratorio. También se muestran los valores certificados por el OIEA para cada analito y los valores de Z-Score.

Z-Score es un indicador del sesgo o error sistemático de los resultados en términos de desviación y varianza. Se define como:

$$\text{Donde: } z = \frac{x - X}{s}$$

Z : valor de Z score

x : Resultado reportado por el laboratorio.

X : Valor asignado al analito.

s: Medida del estimador de varianza aceptable para la determinación de un radionucleido en la muestra analizada.

El criterio de evaluación para el rendimiento de un laboratorio en el ensayo de aptitud considera como aceptables los valores de Z-Score menor a 2.

**Tabla 1.** Resultados de Cesio-137 en las muestras analizadas.

<i>Muestra</i>	<i>Valor Laboratorio (Bq/kg)</i>	<i>Valor Certificado (Bq/kg)</i>	<i>Z-Score</i>
Espinaca	1125 ± 107	1235 ± 35	-0,89
Suelo	65,5 ± 3,2	68,5 ± 1,4	- 0,44
Agua	7,91 ± 1,47	8,12 ± 0,06	- 0,44

### 4. Conclusión

Siendo el Cesio-137 el principal analito de las muestras que se evalúan en el laboratorio, obtener resultados satisfactorios para este radionucleido en una prueba de aptitud de prestigio internacional, refleja la calidad analítica de los resultados reportados por el laboratorio.

### 5. Bibliografía

- [1] International Atomic Energy. The results of the IAEA-Cu-2007-03- World-wide Open Proficiency Test on the Determination of Radionuclides in Spinach, Soil and Water. Austria. (Received on January 2009).
- [2] International Organization for Standardization (ISO). ISO 17025. General Requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva, Switzerland: ISO; 2005.

## **VII. Aspectos Generales**

## **Ejercicio internacional de envío de muestras de sangre (ShipEx-1): La participación del Perú a través del IPEN**

Marco Espinoza\*

Laboratorio de Citogenética y Radiobiología, INDE, IPEN

### **Resumen**

En junio de 2009, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Organización Mundial de la Salud (OMS), y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) decidieron organizar y financiar, un ejercicio internacional conjunto de envío de muestras de sangre desde un laboratorio de Latinoamérica (remitente) hasta un grupo de laboratorios alrededor del mundo (receptores) con el propósito de estudiar el efecto que ocasiona el transporte internacional en las muestras y cómo podría afectar este hecho a la estimación de la dosis biológica. Este ejercicio fue denominado *ShipEx-1* y las organizaciones auspiciadoras encargaron este trabajo al Perú a través del Laboratorio de Citogenética y Radiobiología del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Los objetivos de este ejercicio fueron a) probar la capacidad de envío y recepción oportuna de muestras de sangre bajo regulaciones nacionales e internacionales; b) evaluar la conformidad o no conformidad de las condiciones de la muestra para la dosimetría biológica al momento de su recepción y, c) la evaluación del índice mitótico después de 48 horas de cultivo (sin el recuento de aberraciones cromosómicas). Un total de 14 laboratorios participaron en este ejercicio internacional conjunto de OIEA, OMS y OPS: Argentina, Brasil, Chile, Finlandia, Francia, Alemania, Hungría, Japón, México, Perú (país remitente), España, Turquía, Uruguay y Estados Unidos de América. Las muestras fueron colectadas de dos donantes voluntarios saludables (hombre y mujer) bajo recomendaciones internacionales, preparadas en condiciones estándar para su envío y remitidas a los laboratorios correspondientes después de cumplir los requisitos aduaneros tanto en nuestro país como en los países receptores. Los logros evaluados fueron el tiempo de arribo, la conformidad de las condiciones de la muestra, la temperatura, dosis de radiación e índice mitótico. Los resultados finales fueron considerados exitosos para el Centro Internacional de Emergencias del OIEA que acopió toda la información generada y realizó la evaluación de los resultados y conclusiones del ejercicio.

### **Abstract**

By June, 2009, the International Atomic Energy Agency (IAEA), the World Health Organization (WHO) and the Pan American Health Organization (PAHO) decided to organize and support jointly an international exercise for shipment of blood samples from one Latin American laboratory (sender) to a group of laboratories (receptors) around the world with the purpose to test the effects that could be induced in the samples by trip conditions and how these effects could affect the estimation of biological dose. This exercise was called *ShipEx-1* and the country selected by supporting organizations for making this work was Peru through the Laboratory of Citogenetics and Radiobiology of Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). The main goals of this exercise were a) to test the ability to timely and proper sending and reception of blood samples under national and international regulations; b) to determine the conformity or nonconformity of the sample conditions for biological dosimetry purpose at the time of its reception and c) mitotic index evaluation after 48 hours of culture (the scoring of unstable chromosome aberrations was not required). Fourteen countries participated in this exercise under the auspices of IAEA, WHO and PAHO: Argentina, Brazil, Chile, Finland, France, Germany, Hungary, Japan, Mexico, Peru (as sender country), Spain, Turkey, Uruguay and United States of America. Samples were collected from two healthy voluntary donors (male and female) under international recommendations, prepared in standard conditions for shipment and sent to the corresponding laboratories after completion of customs requirements either in our country or in receptor countries. The endpoints evaluated were time to sample arrival, conformity of sample conditions, temperature, radiation dose and mitotic index. The final results were considered successful for the International Emergency Centre of IAEA that led the evaluation of whole exercise results and conclusions.

## 1. Introducción

En el 2008 se realizó en Buenos Aires, Argentina, la Reunión *Regional sobre los Resultados de los Ejercicios de Intercomparación Realizados en el Marco de la Red Latinoamericana de Dosimetría Biológica – RLA/9/054* y como una de las conclusiones de aquella reunión se estableció la necesidad de un ejercicio de transporte internacional de muestras de sangre con fines de dosimetría biológica con el objetivo de probar el envío y, la recepción apropiada y oportuna de muestras de sangre cumpliendo las regulaciones nacionales e internacionales.

El Organismo Internacional de Energía Atómica asumió la coordinación internacional de las actividades y luego de un intenso intercambio de información entre todas las entidades convocadas para participar en este ejercicio internacional, el 30 de julio de 2009 el OIEA convocó formalmente a los 14 laboratorios participantes, a los representantes nacionales del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) o en su defecto a las Autoridades Nacionales en el ámbito nuclear para apoyar este ejercicio internacional a través de sendas cartas que fueron acompañadas por un documento técnico con instrucciones para el laboratorio remitente, los laboratorios participantes y el PNUD a fin de que cada cual supiera su rol y en qué momento tenía que actuar [1].



**Figura 1.** Las muestras tomadas esperan para ser enviadas.

Nuestro laboratorio se encargó de preparar el envío de las muestras de sangre utilizando los servicios de una empresa especializada en transportar este tipo de material en condiciones validadas internacionalmente (courier). Dicha empresa proporcionó los

formatos requeridos por las oficinas de aduana de los países participantes en este ejercicio y nuestro laboratorio se encargó de coordinar con cada uno, los detalles que debían ser incluidos en los documentos que acompañarían a las muestras. La empresa transportadora se encargó de hacer el envío aéreo de las muestras y entregarlas directamente a los responsables de cada laboratorio (“door to door delivery”).

En el procedimiento acordado para el ShipEx-1, que fue distribuido por el OIEA a todos los países participantes, el punto de partida para el transporte de las muestras iba a ser el apoyo de la oficina del PNUD de Lima, Perú, para que las muestras pudieran viajar en calidad de despacho diplomático [2]. Sin embargo, no se tuvo en cuenta que hay una prohibición internacional para que cualquier muestra biológica viaje en las valijas diplomáticas. Por esa razón, la oficina del PNUD en Lima no pudo prestar su logotipo para ser colocado en las cajas conteniendo las muestras, situación que obligó a un replanteamiento del envío de las muestras. En suma, el PNUD no jugó ningún papel en el ShipEx-1 ni aportó esfuerzo alguno. Ante esta situación, el IPEN asumió toda la responsabilidad del envío de las muestras encargando tal coordinación a la Unidad Operativa de Biología.

El financiamiento fue cubierto mayoritariamente por el OIEA (más del 90%) y en menor medida aportaron las demás organizaciones OMS, OPS e IPEN.

Finalmente, los días 21, 22 y 28 de agosto del 2009 se hizo el envío de las muestras a 13 países superando todas las dificultades.

## 2. Materiales y Métodos

**2.1. Las muestras biológicas:** Se seleccionó a dos personas voluntarias, saludables, como donantes (hombre y mujer de 35 y 45 años, respectivamente). Utilizando un sistema Vacutainer se puso 4 mL de sangre en cada tubo de polipropileno, estéril, sellado al vacío y conteniendo heparina con litio. Cada tubo con sangre se consideró una muestra. A cada laboratorio se envió dos muestras, una femenina y otra masculina.

**2.2. El armado de cada envío:** En un sobre

especial proporcionado por la empresa transportadora se empaquetó, usando una cobertura absorbente, dos tubos con sangre (muestras) un dosímetro tipo TLD, un sensor de temperatura (temperature logger), una cartilla plastificada con instrucciones para uso del laboratorio receptor y un ejemplar del formato de reporte de conformidad o no conformidad.



**Figura 2.** La bolsa conteniendo el material enviado a cada laboratorio.

**2.3. El embalaje:** Una vez verificado el contenido de cada sobre conteniendo las muestras, en presencia de un agente de la empresa transportadora se procedió a su empaquetamiento de acuerdo con la instrucción P650 de las Naciones Unidas, considerando que estas muestras estaban tipificadas como UN 3373 “Sustancias Biológicas, Categoría B” [4]. Se usaron embalajes triples de cartón rígido con compartimientos para colocar hielo seco suficiente como para mantener una temperatura adecuada durante el viaje y proteger a la muestra de impactos y roturas. El peso final de cada bulto fue de  $10 \pm 0.5$  kg.

**2.4. El medio de transporte:** Los envíos fueron encargados a una compañía transportadora (courier) especializada en el transporte de muestras biológicas con oficinas de distribución en todos los países receptores del presente ejercicio. Al momento que las muestras fueron entregadas a la empresa transportadora se comunicó a cada laboratorio para que previeran el arribo de las

muestras coordinando con la filial de dicha empresa en su país. Con la empresa transportadora se acordó que ellos llevarían la muestra hasta cada laboratorio para garantizar la entrega segura en la mano (door to door delivery).

**2.5. La recepción y cultivo de células:** Los laboratorios designaron un responsable para recibir las muestras y procesar los cultivos de células de inmediato. Cada laboratorio debía notificar inmediatamente la recepción de las muestras y enviar por correo electrónico el formato que les fue remitido junto con la muestra, y en el cual debían consignar la conformidad o no conformidad del envío. Los cultivos de células se hicieron siguiendo los lineamientos del OIEA, de amplio uso en los laboratorios del mundo [3].



**Figura 3.** El embalaje para cada país debía ser validado. En la parte exterior se observa la etiqueta P650 junto a otros datos del envío.

**2.6. La determinación del índice mitótico:** Se acordó entre los países participantes que para medir el estado vital de la muestra y poder evaluar su capacidad de ser utilizada para hacer dosimetría biológica, cada laboratorio debía determinar el índice mitótico de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$IM = \text{N}^{\circ} \text{ linfocitos en metafase} / \text{n}^{\circ} \text{ de linfocitos estimulados (ver figura).}$$

El recuento del índice mitótico se realizó en 500 células totales (linfoblastos + células en metafase).

**2.7. Evaluación final de los resultados del ejercicio internacional:** Los dosímetros TLD y los sensores de temperatura que

acompañaron a cada uno de los envíos en su viaje desde Lima hasta su destino final (suministrados por el OIEA) fueron devueltos por cada laboratorio al International Emergency Centre del OIEA (IEC-IAEA) para su lectura y análisis.



**Tabla 1.** Detalle del envío de muestras de sangre desde el Perú a 13 países del mundo en el marco del ShipEx-1.

País	Código de las muestras enviadas	Código del dosímetro TLD	Código del sensor TEMP-LOG	Fecha de toma de muestra y envío	Hora de la toma de muestra	Fecha de arribo al laboratorio receptor	Hora de llegada	Tiempo total desde el muestreo
ARGENTINA	AR-KL1 / AR-AL1	IEC-TR-01	N° 01	09/21/09	11:15	09/22/09	14:20	25:05 h
BRAZIL	BR-KL2 / BR-AL2	IEC-TR-02	N° 02	09/28/09	08:00	09/30/09	15:53	52:53 h
CHILE	CL-KL3 / CL-AL3	IEC-TR-03	N° 03	09/21/09	11:15	09/22/09	10:45	23:30 h
FINLAND	DE-KL6 / DE-AL6	IEC-TR-06	N° 06	09/21/09	11:15	09/25/09	09:30	87:15 h
FRANCE	FR-KL5 / FR-AL5	IEC-TR-05	N° 05	09/21/09	10:30	09/23/09	16:00	47:30 h
GERMANY (1)	FI-KL4 / FI-AL4	IEC-TR-04	N° 04	09/21/09	11:15	09/25/09	17:25	96:10 h
GERMANY (2)	DE-KL14 / DE-AL14	IEC-TR-12	N° 12	09/28/09	08:00	09/30/09	08:40	42:40 h
HUNGARY	HU-KL7 / HU-AL7	IEC-TR-07	N° 07	09/21/09	10:30	09/24/09	09:40	65:10 h
JAPAN	JP-KL16 / JP-AL16	IEC-TR-08	N° 08	09/28/09	08:00	10/02/2009	13:00	87:00 h
MEXICO	MX-KL9 / MX-AL9	IEC-TR-09	N° 09	09/22/09	08:00	09/24/09	21:00	62:00 h
PERU	PE-KL10 / PE-AL10	IEC-TR-10	N° 10	09/28/09	08:00	09/30/09	08:00	48:00 h
SPAIN	ES-KL11 / ES-AL11	IEC-TR-11	N° 11	09/21/09	10:30	09/24/09	01:15	56:45 h
TURKEY	TR-KL15 / TR-AL15	IEC-TR-15	N° 15	09/28/09	08:00	10/01/2009	13:45	70:45 h
URUGUAY	UY-KL13 / UY-AL13	IEC-TR-13	N° 13	09/21/09	10:30	09/23/09	12:30	47:00 h
USA	US-KL14 / US-AL14	IEC-TR-14	N° 14	09/21/09	10:30	09/23/09	07:30	44:00 h

**Tabla 2.** Resultados del índice mitótico obtenido por los laboratorios participantes del ejercicio internacional. Las muestras que quedaron en el Perú son valores de referencia para comparar los efectos sufridos en las otras muestras.

PAIS	Índice Mitótico		Fecha de Transporte	Tiempo de transporte	Temperatura (°C)
	AL %	KL %			
ALEMANIA	2.6	2.6	28/09 - 30/09	42:40 h	6.9 - 7.9
ARGENTINA	5.0	2.5	21/09 - 22/09	25:05 h	6.4 - 6.8
BRASIL	4.8	4.0	28/09 - 30/09	52:53 h	3.3 - 3.1
CHILE	5.9	5.5	21/09 - 22/09	23:30 h	3.9 - 3.5
ESPAÑA	8.0	9.2	21/09 - 24/09	56:45 h	18.8 - 3.5
FINLANDIA	7.0	4.0	21/09 - 25/09	87:15 h	6.9 - 8.5
FRANCIA	4.6	5.6	21/09 - 23/09	47:30 h	3.1 - 3.8
HUNGRIA	6.38	7.99	21/09 - 24/09	65:10 h	3.9 - 3.5
JAPON	17.2	18.8	28/09 - 02/10	87:00 h	4.6 - 2.0
MEXICO	4.93	1.6	22/09 - 25/09	62:00 h	2.5 - 8.4
TURQUÍA	11.2	11.0	28/09 - 01/10	70:45 h	2.9 - 4.2
URUGUAY	5.0	4.9	21/09 - 23/09	47:00 h	7.0 - 7.6
USA	7.5	6.8	21/09 - 23/09	44:00 h	3.5 - 3.7
PERU	9.3	7.6	28/09 - 30/09 (+)	48:00 h	4.5 - 8.0
PERU	11.5	10.5	28-Sep	02:00 h	18 - 20

(+) muestras en refrigeración

#### 4. Discusión

**El antes y el después del envío:** En reciente reunión realizada en Buenos Aires, Argentina, el OIEA ha manifestado su satisfacción por la realización del ejercicio internacional de envío de muestras de sangre ShipEx-1. Ha sido la primera vez en la historia de la dosimetría biológica que se logra enviar un número tan significativo de muestras de sangre cumpliendo con todas las normas internacionales y respetando escrupulosamente las normas de cada país para que las muestras biológicas salgan del país remitente y entren en cada uno de los países receptores sin inconvenientes ni observaciones. Asimismo, es la primera vez que se hace un envío internacional de muestras de sangre con control de temperatura y dosis de radiación. La información generada permitirá tener información precisa de la influencia de los aspectos físicos y ambientales en la vitalidad de las células y su capacidad para la dosimetría biológica.

##### Las dificultades:

La principal de todas fue el costo de un envío tan sofisticado como el realizado a tantos y tan distantes países del mundo. Si bien es cierto, las organizaciones internacionales auspiciadoras de este ejercicio cubrieron prácticamente todos los gastos, en la eventualidad de querer usar este mecanismo para enviar muestras desde nuestro país, en caso de una emergencia real, tendríamos un gran escollo si no contamos con un presupuesto entre US \$ 800 a 1500 por cada envío. Otra dificultad identificada es que hay países que no solamente son lejanos (Turquía, Japón o Finlandia, por ejemplo), sino que no tienen vuelos directos desde Lima y en los transbordos, en algunas ocasiones, se producen demoras que pueden poner en riesgo la supervivencia de las células antes de ser puestas en cultivo. También en países como México, Brasil y Uruguay la burocracia aduanera demoró demasiado el envío de las muestras por ese celo tan peculiar que tienen ese tipo de funcionarios en todas partes con el contenido de la documentación.

El mayor contratiempo surgido durante este ejercicio de envío de muestras fue la confusión que se dio por parte del courier al entregar las muestras a los laboratorios de

Finlandia y Alemania. Esto nos obligó a hacer un segundo envío al laboratorio de Alemania ya que por el tiempo transcurrido era muy probable que la muestra hubiese resultado dañada. Afortunadamente, el segundo intento resultó exitoso. El laboratorio de Finlandia, por su parte, pudo hacer el cultivo de células de las muestras que recibió.

##### Las enseñanzas:

a) Es factible el envío de muestras de sangre para fines de dosimetría biológica, en condiciones validadas de acuerdo a normas internacionales, desde Lima Perú hasta países de América, Asia y Europa en tiempos que van desde 25 hasta 87 horas y que las muestras lleguen en condiciones de ser cultivadas *in vitro* para estudios cromosómicos.

b) El Instituto Peruano de Energía Nuclear puede hacer los envíos internacionales de muestras de sangre sin necesidad de ninguna otra organización intermediaria, como fue en este ejercicio internacional.

c) Las coordinaciones con todos los actores que deben intervenir en caso de emergencia radiológica pueden hacerse totalmente por medios electrónicos (incluyéndose las teleconferencias, video conferencias, coordinaciones para trámites aduaneros, seguimiento del viaje de los envíos y pagos por los servicios). Esto resulta mucho más eficaz si se usa la conexión con el IEC-IAEA y si se solicita la colaboración de la Red Latinoamericana de Dosimetría Biológica (LBDNET) a la cual pertenece nuestro laboratorio y cuyos mecanismos de activación y participación en las emergencias radiológicas son de nuestro conocimiento y dominio.

d) Las dosis de radiación a las que podrían estar expuestas las muestras en el viaje aéreo no es un aspecto crítico ya que en ninguna de las 13 muestras enviadas se reportó un efecto nocivo sobre el crecimiento celular. Lo mismo se puede decir de las temperaturas que fueron registradas por los sensores de temperatura (temperature loggers). El informe final de esta evaluación aún no nos ha sido remitido por el OIEA que es la organización que está liderando la evaluación final de los resultados de este trabajo.

## 5. Referencias

[1] International Atomic Energy Agency. Carta de invitación de fecha 30 de julio de 2009 del IEC – IAEA al Instituto Peruano de Energía Nuclear. 2p.

[2] International Atomic Energy Agency. Shipment of biological samples for biological dosimetry assessment. Joint IAEA, PAHO

and WHO International Exercise ShipEx-1. Vienna: IAEA; 2009. 10 p.

[3] International Atomic Energy Agency. Cytogenetic analysis for radiation dose assessment. Technical Reports Series N° 405. IAEA: Vienna; 2001.

[4] World Health Organization. A guide for shipping infectious substances. Shippers Program 2009.

## The Latin American Biological Dosimetry Network (LBDNET):

### Argentina, Brazil, Chile, Cuba, México, Perú, and Uruguay

Marina Di Giorgio<sup>1</sup>, María B. Vallerga<sup>1</sup>, Analía Radl<sup>1</sup>, María Rosa Taja<sup>1</sup>, Analía Seoane<sup>2</sup>, Julio César De Luca<sup>2</sup>, Mónica Stuck<sup>3</sup>, Patricia Valdivia<sup>4</sup>, Omar García<sup>5</sup>, Ana Ilsa Lamadrid<sup>5</sup>, Jorge E. González<sup>5</sup>, Ivone Romero<sup>5</sup>, Tania Mandina Cardoso<sup>5</sup>, Citlali Guerrero<sup>6</sup>, Carolina Arceo<sup>6</sup>, Nilda V. Oliveros<sup>7</sup>, Wilner Martínez López<sup>8</sup>, María Vittoria Di Tomasso<sup>8</sup>, Leticia Méndez<sup>8</sup>, Francisc Barquinero<sup>9</sup>, Laurence Roy<sup>10</sup>, Marco Espinoza<sup>11,\*</sup>

<sup>1</sup> Argentina-Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN)

<sup>2</sup> Argentina-Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

<sup>3</sup> Brasil-Instituto de Radioprotección y Dosimetría (IRD)

<sup>4</sup> Chile-Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN)

<sup>5</sup> Cuba-Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR)

<sup>6</sup> México-Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)

<sup>7</sup> Perú-Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM)

<sup>8</sup> Uruguay - Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable (IIBCE)

<sup>9</sup> España-Universidad Autónoma de Barcelona-Facultad de Biociencias (UAB)

<sup>10</sup> France-Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire (IRSN)

<sup>11</sup> Perú - Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)

### Abstract

Biological Dosimetry is a necessary support for national radiation protection programs and emergency response schemes. The Latin American Biological Dosimetry Network (LBDNET) was formally founded in 2007 for mutual assistance in case of radiation emergencies and for providing support to other Latin American countries that do not have biodosimetry laboratories. In the frame of the IAEA's Technical Cooperation Projects RLA/9/54 and RLA/9/61 the following activities have been performed: a) An international intercomparison exercise organized during 2007-2008 including six European countries and LBDNET laboratories. Relevant parameters related with dose assessment were evaluated through triage and conventional scoring criteria. A new approach for statistical data analysis was developed including assessment of inter-laboratory reproducibility and intra-laboratory repeatability. Overall, the laboratory performance was satisfactory for mutual cooperation purposes. b) In 2009, LBDNET and two European countries carried out a digital image intercomparison exercise involving dose assessment from metaphase images distributed electronically through internet. The main objectives were to evaluate scoring feasibility on metaphase images and time response. In addition a re-examination phase was considered in which the most controversial images were discussed jointly, this allowed for the development of a homogeneous scoring criteria within the network. c) A further exercise was performed during 2009 involving the shipment of biological samples for biological dosimetry assessment. The aim of this exercise was to test the timely and properly sending and receiving blood samples under national and international regulations. A total of 14 laboratories participated in this joint IAEA, PAHO and WHO International Exercise. The endpoints evaluated were time to sample arrival, conformity of sample conditions, temperature, radiation dose and mitotic index. Evaluation of results of the last two mentioned exercises are now in progress and should be concluded during 2010. LBDNET has periodically organized workshops, meetings and training programs in order to strengthen its capabilities.

### 1. Introduction

Biological Dosimetry allows individual dose assessments based on the effect produced by ionizing radiation on a given biological parameter. The biological endpoints for scoring are chromosomal aberrations (mainly

dicentric), relying on a lymphocytes culture from the patient's blood. The measured yield of chromosome aberrations is referred to a calibration curve obtaining the whole body absorbed dose.

\* Corresponding author: mespinoza@ipen.gob.pe

Biological Dosimetry has become a routine component of accidental dose assessment, complementing physical and clinical dosimetry. In this regard, it is a necessary support for National Radiation Protection Programs and Emergency Response Schemes.

Biological dosimetry laboratories of several Latin American countries began working together in 1990 sponsored by an ARCAL I project. The countries involved were: Argentina, Brazil, Chile, Cuba and Peru. They conducted the first intercomparison exercise of scoring and data analysis which included the dicentric analysis and the micronucleus assay. The dose estimates obtained were consistent, allowing mutual assistance in case of emergency [1].

In 1996 – 1998, in the frame of the GRIAPRA (Iberoamerican Group of Radiation Protection Societies) a biannual Collaborative Working Project was started. The countries involved were: Argentina, Brazil, Cuba, Spain, Mexico, Peru and Portugal. The general objective was to create a Coordinating Group of Biological Dosimetry Laboratories for the purpose of mutual aid in case of radiological accidents. Activities related to the implementation of Quality Control programs based on ISO 9000 were performed. Additionally, a research activity was developed involving the laboratories of Argentina, Cuba and Spain. This investigation entailed the biological dosimetry of 16 Chernobyl Children through conventional and FISH (Fluorescence *in situ* hybridization) techniques [2].

In 1999 these countries met, sponsored by ARCAL XXXVII "Medical treatment in cases of radiological accidents". It was the first meeting at which biological dosimetry specialists were able to interact and coordinate their work. During this meeting an intercomparison exercise was coordinated; Unstable Chromosome Aberrations were scored using the FPG technique (Fluorescence Plus Giemsa) [3].

The first step in the consolidation of LBDNET occurred in 2006 through the "Regional Workshop on the ISO 19238 and its implementation in biological dosimetry laboratories in Latin America" sponsored by IAEA. The participating countries of the

region were Argentina, Brazil, Chile, Cuba, Mexico, Peru and Uruguay. Several European experts also attended the meeting (France, Germany, Italy, The Netherlands and United Kingdom). Different aspects of biological dosimetry were approached. The status of the laboratories in the region was assessed, taking into account equipment, methodologies, quality control systems and the relationship with national emergency response mechanisms. During this meeting a network for effective cooperation in biological dosimetry was proposed.

Some laboratories in the region have participated in real biological dose assessment from different accidents, in the framework of the Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency (CANARE) - IAEA and / or bilateral agreements. The cooperation activities comprised the radiological accidents of Goiania, Brasil, (1987), El Salvador (1989) [4], Yanango, Peru (2000) [5], Cochabamba, Bolivia (2002) [6], Nueva Aldea, Chile (2005) [7], the radiological incident in Venezuela (2005-2006).

Finally in 2007, supported by the Department of Technical Cooperation of the IAEA, through RLA/9/54 project, a regional workshop: "TECDOC-206 and 405, and ISO19238: 2004 and IAEA-EPR METHOD: 2003" was performed. In this workshop the Latin American Biological Dosimetry Network (LBDNET) was formally started.

In the present work, the Latin American Biological Dosimetry Network is introduced. The design, organization and activation of the net in case of emergency are presented. The activities performed so far are discussed; these include intercomparison exercises, training programs, courses and meetings.

## **2. The Latin American Biological Dosimetry Network (LBDNET)**

The Latin American Biological Dosimetry Network (LBDNet) was constituted (Regional Workshop, Havana – Cuba- 29 October – 2 November 2007) for mutual assistance in case of a radiation emergency. Additional goal of the network is to provide support to other Latin American countries that do not have biological dosimetry laboratories. Establishment and activities

within the LBDNet are performed as recommended by the ISO 21243 guidelines [8].

## 2.1. Network activation and maintenance

### 2.1.1. Network design

The constitution of the laboratory network is based on a voluntary and consensual participation of laboratories, qualified in the selected cytogenetic techniques. Representation of laboratories is institutional and not personal.

The LBDNet consists of seven reference laboratories responsible for the biological dosimetry from:

- a) Argentina - Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN)
- b) Brazil - Instituto de Radioprotección y Dosimetría (IRD)
- c) Chile - Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN)
- d) Cuba - Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR)
- e) Mexico - Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)
- f) Peru - Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)
- g) Uruguay - Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable (IIBCE)

At the national level the laboratories of the network are working within national emergency response systems.

At the international level the network cooperates with the IAEA Incident and Emergency Centre (IEC) in the frame of the Convention of Early Notification of a Nuclear Accident and the Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency, and with other assistance systems such as REMPAN/WHO-Global Biodosimetry Laboratories Network. The network is opened for collaboration with laboratories in other countries in the region and from other regions (e.g. IRSN, France, UAB, Spain), as well as for collaboration with other national and regional networks (e.g. France, Canada networks, etc).

### 2.1.2. The network organization

#### 2.1.2.1. Organization in normal situations

In normal situation each laboratory of the network has the same hierarchical level and

interacts with each other through common training, exercises, intercomparisons and drills. These activities involve technical, communication and organization-activation aspects.

#### 2.1.2.2. Network activation and organization in emergency

The network uses the activation and communication mechanisms of the National Emergency Response Systems, profiting from the infrastructure and Competent Authorities under Emergency Conventions established in each country.

The network activation could be initiated by:

- IAEA-IEC, in the frame of the Convention of Early Notification of a Nuclear Accident and the Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency, also after notification of WHO, which triggers the WHO-Global BioDoseNet.
- Bilateral agreements between the Region countries.

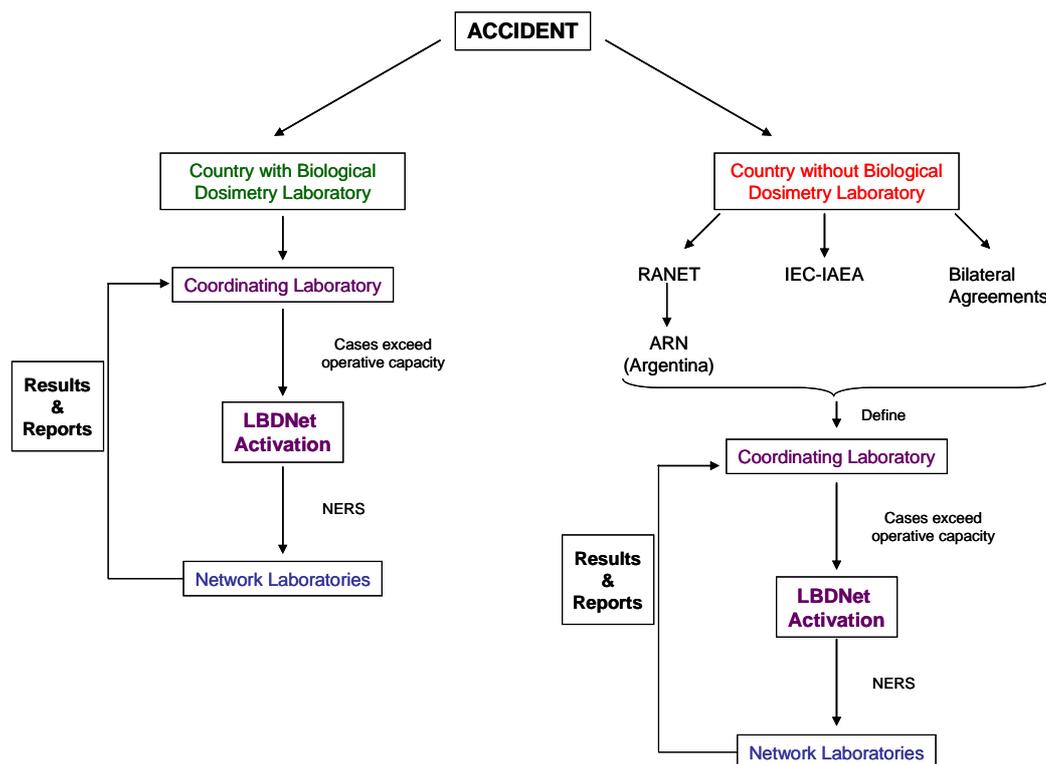
#### **Case A. Radiation emergency happens in a country within the LBDNET**

The network laboratory of the country where the accident has occurred becomes the coordinating laboratory for that emergency. It is primarily responsible for the communication with the members of the National Emergency Response System (NERS) and for providing necessary technical input to the NERS to be communicated within the International Emergency Response System. Coordinating laboratory is responsible for issuing dose estimation results within NERS.

#### **Case B. Radiation emergency happens in a country outside of the LBDNET**

**Case B1:** The network laboratory of the country registered under RANET (Response Assistance Network) becomes the coordinating laboratory for that emergency and activates the LBDNET after begin activated under RANET. Currently the Biological Dosimetry laboratory of Argentina is the laboratory registered under RANET.

The network organization in emergency is as follows (Figure 1):



**Figure 1.** LBDNET activation and organization in Case of Emergency. (RANET: Response Assistance Network. IEC-IAEA: Incident and Emergency Center of the International Atomic Energy Agency. ARN: Nuclear Regulatory Authority. NERS: National Emergency Response System. LBDNET: Latin American Biological Dosimetry Network).

**Case B2.** The network laboratory activated by bilateral agreements between the Region countries becomes the coordinating laboratory for that emergency and activates the LBDNET after being activated under bilateral agreements.

In all these situations the coordinating laboratory within the LBDNET is responsible for network activation through the NERS and calls for the collaboration of the network laboratories when the number of cases to be examined exceeds its operative capacity.

When the decision to activate the network is made, the coordinating laboratory becomes the focus for the communication among the network members, and also for issuing dose estimation results, except that due to operative reasons the laboratory delegates this function to other network laboratory.

### 2.1.3. Preparedness and Maintenance of the LBDNET

At present, the response of the network in an emergency situation involves the use of the dicentric analysis. The technical procedures

status of the region was evaluated and the conformity to ISO 19238 [9] and IAEA's TR 405 [10] was determined. As a result of this it was agreed upon that no common procedure was needed for the time being. Nevertheless, the recording of data should be harmonized. To this end a data report form has been produced to document blood sample reception conditions. Likewise a data sheet for recording aberrations was produced in order to inform the metaphases observed. Moreover, the scoring criteria were harmonized, as was the determination of the mitotic index.

The introduction of the PCC (Premature Chromosome Condensation) technique is now in progress in the different network laboratories for its application on cases of overexposure to high doses of radiation.

### The logistic organization planning

The organization of blood samples collection and transportation between countries/laboratories activated by the network has been taken into account. The

corresponding procedure should be formalized.

National and international regulations for receiving and sending blood samples from and to abroad, which may affect the efficiency of the network activity, have been researched and documented. In addition, a training exercise has been performed to evaluate these aspects, the ShipEx-1 which is detailed further on.

The harmonization of the techniques applied in an emergency when a large number of persons are to be evaluated, in order to pool data in a combined response within LBDNET. The corresponding procedure should be formalized.

In order to keep the LBDNET active, technical and emergency exercises have to be performed periodically. It has been proposed that this should be accomplished through meetings organized regularly (at least every 2 years) with rotating leadership. Each managing period will comprise two different countries; biennially one of them would step down allowing another country to take its place.

## *2.2. Operational Capabilities of the Network Laboratories*

The present state of the Biological Dosimetry laboratories from Latin America was revised during a meeting that took place in La Havana, Cuba during 2007. Different aspects were evaluated including human resources, equipment, experience in cytogenetic and, in the field of biological dosimetry, biosafety standards applied, research projects and other techniques in use (Table 1).

As a result, it was determined that all the labs of the network presented cell culture laboratories and applied biosafety standards. Moreover, all the laboratories had at least one microscope with a fluorescence system attached but only three counted with a metaphase localization system.

Most of the laboratories had other techniques established besides the dicentric assay. These comprised cytokinesis blocked micronucleus assay, FISH technique, PCC-ring induction, H2AX assay, alkaline single-cell microgel electrophoresis (comet) assay, G-banding, sister chromatid exchanges (SCEs), apoptosis analysis by flow cytometry and triple

fluorescence staining and reticulocytes counting by flow cytometry.

Four out of the 7 biological dosimetry laboratories belong to the National Nuclear Regulatory Authority of its country. The remainder is linked to their national institution by the national emergency plan.

Regarding Quality Management System one laboratory of the region has achieved accreditation under ISO 17025:2005 [11] and another one has implemented it.

This review allowed the establishment of needs and improvement opportunities of each laboratory in order to increase the resources of the region.

## *2.3. Activities in the Frame of the Network*

### *2.3.1. An International Intercomparison Exercise (2007-2008): Robust Methods*

An international biological dosimetry intercomparison, involving the 7 Latin American countries of the network and 6 European countries (Finland, France, Germany, Spain, Turkey, United Kingdom) was performed in the period 2007-2008, in the frame of the IAEA Regional Project - RLA/9/054 [13]. The objectives of the intercomparison were: 1) To assess the results derived from conventional and triage scoring criteria. 2) To evaluate the inter-laboratory reproducibility and intra-laboratory repeatability. 3) To apply a statistical approach for data analysis and performance evaluation based on ISO 43-1:1997 [13], ISO 5725-2 and 5725-5:1998 [14], and ISO13528:2005 [15] standards. 4) To identify difficulties and provide the necessary modifications for the collaborative task in order to improve the technical quality and competence of the laboratories.

Human blood samples were irradiated in vitro with a  $^{60}\text{Co}$  source (Regional Reference Center for dosimetry) for two points of doses (DI=0.75 Gy and DII=2.50 Gy). For each point 50, 100 and 500 cells were analyzed.

Statistical analysis: To correct inconsistent values a new approach was used (ISO 5725-2 /5). This consisted in robust methods for data analysis which yield robust values of the average and standard deviation of the data. Algorithms A and S were applied to calculate repeatability and reproducibility standard

deviations.

The laboratory's performance was determined by the z-score and the u-score. To calculate z-score parameter from the laboratory results, the reference value and the estimated standard deviation were used. The evaluation of the u-score parameter includes both participant measurements and reference value uncertainties. In general, the laboratories performance was considered satisfactory according to these parameters. When results from DI and DII dose were taken into account as a whole, there was no correlation. This indicates that laboratories errors distribute in a random way.

Triage criteria: The evaluation of 50 cells (DI) revealed the probability to obtain false negatives as the confidence interval (CI) reaches zero dose in 6 out of 14 cases. When analyzing 100 cells the CI tended to detach from zero.

The Coefficient of Variation (CV) was greater for frequencies than for dose estimates for both points evaluated. Regarding dose assessment the CV was lower for the higher dose (DII).

Overall, the laboratory performance was satisfactory for mutual cooperation purposes.

**Table 1.** Summary of the Facilities and Human Resources Available in the Latin American Region (BD: Biological Dosimetry).

	Present Personal Skills	Infrastructure	Dosimetric curves
<b>Argentina</b>	Quantity: 6 Years in Citogenetics: 29 Years in BD: 29	Microscopes: 5, 2 with fluorescence system. Automated systems: 1 (Cytovision)	7: dicentrics and rings for $^{60}\text{Co}$ , 20 MeV alfa particles, photons 6 MeV and 15 MeV. MN, G-banding and FISH for $^{60}\text{Co}$
<b>Brazil</b>	Quantity: 1 Years in cytogenetics: 14 Years in BD: 14	Microscopes: 5, 2 with fluorescence system. Automated systems: 1 (MetaSystems)	1: dicentrics and rings for $^{60}\text{Co}$ .
<b>Chile</b>	Quantity: 1 Years in Citogenetics: 6 Years in BD: 6	Microscope: 2 Automated systems: no	2: dicentric for X Rays and $^{60}\text{Co}$ .
<b>Cuba</b>	Quantity: 5 Years in Citogenetics: 23 Years in BD: 23	Microscopes: 3, 1 with fluorescence system) Automated systems: no	4: dicentrics for $^{60}\text{Co}$ , MN for $^{60}\text{Co}$ PCC ring for $^{60}\text{Co}$ and neutrons.
<b>México</b>	Quantity: 2 Years in Citogenetics: 13 Years in BD: 7	Microscopes: 3, 2 with fluorescence system Automated systems: no	4: dicentrics for $^{60}\text{Co}$ , X Rays 58 KVp, X Rays 120 KVp, X Rays 250 KVp, neutrons $\bar{E} = 2$ Mev in progress
<b>Perú</b>	Quantity: 1 Years in Cytogenetics: 25 Years in BD: 17	Microscopes: 3, 2 with fluorescence system Automated systems: no	2 : dicentrics for $^{60}\text{Co}$ , X Rays 250 KVp in progress.
<b>Uruguay</b>	Quantity: 4 Years in cytogenetics: 23 Years in BD: 6	Microscopes: 4, 2 with fluorescence systems. Automated systems: 1 (MetaSystems)	2: dicentrics for $^{60}\text{Co}$ and X Rays 250 KVp.

### 2.3.2. Digital Image Intercomparison Exercises (2009)

Two intercomparison of dicentric chromosomes assay using electronically transmitted images involving the Latin American biological dosimetry network (LBDNet) and two European

laboratories (France and Spain) were conducted during 2009 [16]. The main objectives were to evaluate scoring feasibility on metaphase images and time response.

For each trial one laboratory was responsible for all the process from blood irradiation to supplying images through a website created by the network. After performing image analysis the various laboratories sent their

results to one nominated person who was responsible for the analysis and evaluation of the results.

During the first intercomparison, 9 laboratories analyzed the same 200 images, 100 derived from cells exposed to 0.5 Gy and another 100 images derived from cells exposed to 3 Gy. Whatever the dose only around half of the cells were suitable for dose estimation. From this first intercomparison a coefficient of variation (CV) of 20 % was obtained for both doses using two end-points: the measured dicentric frequency and the estimated dose. The trueness, which is the closeness of agreement between the average value obtained from the participant laboratory results and an accepted reference value, was evaluated. This trueness was better for the dose of 3 Gy (3 %) than for the dose of 0.5 Gy (60 %). However, at this level of dose this poor agreement does not have great impact on health consequences.

In the second intercomparison (the exposure of 0.5 Gy) an emergency situation was tested and each lab was required to score in 2 days 50 different images extracted from 500 downloaded images. Afterwards, the remaining 450 metaphases had to be scored in a week. These requirements were achieved by only 3 laboratories among the 8 participants. These three laboratories had more than one skilled operator. Using 50 different images, the CV of frequency (75%) and dose (70%) were not as good as in the first intercomparison where the number of images was 100. At this stage it is difficult to say if these higher CV derive from the lower number of cells analyzed (50 instead of 100) or from the fact that not the same set of cells were scored. The trueness improved after scoring 500 cells than after 50 cells.

The results obtained so far with images analysis seem promising and have to be validated as a technique for population triage in a large scale accident.

### *2.3.3. Shipment of Blood Samples for Biological Dosimetry Assessment (2009)*

The ShipEx-1 (2009) exercise tested existing capabilities for safe and expeditious international transport of samples subjected to biological dosimetry assessment. Blood samples were shipped from Peru – Instituto

Peruano de Energía Nuclear, Biological Dosimetry Laboratory to participating laboratories in 13 countries within the Latin American Biological Dosimetry Network and both the IAEA Response Assistance Network and WHO BioDoseNet (Argentina, Brazil, Chile, Finland, France, Germany, Hungary, Japan, Mexico, Spain, Turkey, Uruguay, USA).

The means to evaluate the successful shipment of the samples were: a) the ability to send/receive the samples in a timely manner, b) conformity or nonconformity of the sample conditions for biological dosimetry purposes at the time of its reception and c) the mitotic index evaluation after 48 hours of culture. Additionally, TLD badges and temperature data loggers provided by the IAEA's IEC were used to determine the adequacy of the transport conditions during the shipments.

Overall, the shipping of the blood samples was successfully conducted. The sender, the Peruvian laboratory, followed the WHO regulations, liaised with the Competent Authority and PAHO Country Office in Peru for coordination and support purposes. In addition, the sender made advance arrangements with the receivers including investigating the need for import/export permits and with the carrier to ensure that the shipments were undertaken by the most direct routing and "door to door" delivery. The custom requirements and the national regulations were met in each country. The packaging conditions, under International regulations (P650) and transport under controlled conditions (temperature stability, not freezing, non exposure to X-rays), were met. Nevertheless, the time of transport was not fulfilled in 7 out of 13 laboratories resulting in these samples being declared in nonconformity. The maximum temperature registered during the transport was 9.5°C. The results of the mitotic index (MI) evaluation showed a great dispersion amongst laboratories, in all cases the MI was higher than 2.5 and thus, considered satisfactory. A regression analysis to analyze the impact of temperature and time of transport on MI variation, indicated that time of transport contributed the most. However, the comparison of MI data of receiving labs with MI control values (Peruvian lab data) showed

that other factors aside from temperature and time of transport modified the MI. The mechanical stress of the transport would have some influence on cellular viability and growth capacity.

Conclusions drawn in the exercise will contribute to the enhancement of the capability to timely and proper ship biological samples in international assistance missions.

- Since the establishment of the LBDNet the following meetings and courses have been performed:

- “Regional Workshop on the Technical Reports Series 260 and 405, ISO19238:2004 and IAEA EPR-METHOD 2003” La Havana, Cuba (2007). Reference N°RLA/9/054.

- “Regional Meeting on the Intercomparison Exercise Performed in the Framework of Latin American Biological Dosimetry Network” Buenos Aires, Argentina (2008) Reference N°RLA9/054.

- “Regional Meeting on the Biodosimetry Intercomparison Results” in the framework IAEA - Technical Cooperation Project: “Strengthening National Systems for Preparedness and Response to Nuclear and Radiological Emergencies” Lima, Peru. (2009) Reference N° RLA/9/061.

- “Regional Course on the chemically induced premature chromosome condensation technique (PCC) (laboratory activities). Biostatistician tools for Biological Dosimetry, including an introduction to Bayesian Statistics, and remarks on the new version of the Technical Report Manual” Buenos Aires, Argentina (2010) Reference N° RLA/9/061.

The trainings were carried out inside the region or in the biological dosimetry laboratories of Spain or France. The distribution of these programs was as follows 1 Argentina, 1 Chile, 2 Cuba, 2 Mexico, 1 Uruguay.

### 3. Conclusions

The increased risk of scenarios involving mass casualties has stimulated the scientific community to develop tools that would help the medical doctors to treat victims. In the case of radiation exposure the estimation of dose is valuable information for the medical

team. This can be achieved by the dicentric assay in lymphocytes. However this approach is time consuming and the capacity of each individual laboratory performing the assay is limited. The main drawback in data acquisition is the need to score dicentrics in a large number of cells. One way to increase the capacity of a given laboratory is to use the ability of skilled operators of other laboratories. This would imply the organization through regional networks and the capacity to operate under international response systems (RANET; WHO-BioDoseNet).

To this end the Latin American Biological Dosimetry Network was established. The experience gained by intercomparisons, training activities, courses and meetings has allowed the region to be prepared to produce an effective and coordinated response in cases of radiological or nuclear emergencies. Nevertheless, improvements in scoring criteria, sustainable integration of research activities, introduction of other techniques for the interpretation of different overexposure scenarios, continuity of training programs and periodic intercomparison exercises are necessary to maintain the operative capacity of the network.

Proficiency tests are essential tools for the quality assurance of the laboratories as they constitute an objective evaluation of its performance, from both human and technical point of view. Actions for a steady quality assurance and quality control, such as the implementation of quality management systems in the network laboratories are to be pursued as future activities within the network.

### 4. References

- [1]. Garcia OF, Ramalho AT, Di Giorgio M, Mir SS, Espinoza ME, Manzano J, Nasazzi N, López I. Intercomparison in cytogenetic dosimetry among five laboratories from Latin America. *Mutation Research*. 1995; 327(1-2):33-39.
- [2]. Nasazzi NB, García Lima O, Olivares P, Espinoza M, Taja M, Di Giorgio M, Lamadrid AI., Moreno Prieto M.J. Actividades del proyecto -Cooperación y desarrollo con Iberoamérica en Dosimetría Biológica- del Grupo iberoamericano de Sociedades de Protección Radiológica

- (GRIAPRA). In: Proceedings of the V Regional Congress on Radiation Protection; 2001 Apr 29 – May 5; Recife Pernambuco, Brazil.
- [3]. Ramalho AT, Nasazzi N, García OF, López I, Costa MLP, Di Giorgio M, Taja MR, Lamadrid AI, Oliveira MS. Interlaboratory comparison in cytogenetic dosimetry among four Latin American countries. In: Proceedings of the V Regional Congress on Radiation Protection; 2001 Apr 29 – May 5; Recife Pernambuco, Brazil.
- [4]. International Atomic Energy Agency. The radiological accident in San Salvador. Vienna: IAEA; 1990.
- [5]. International Atomic Energy Agency. The radiological accident in Yanango. Vienna: IAEA; 2000.
- [6]. International Atomic Energy Agency. The radiological accident in Cochabamba. Vienna: IAEA; 2004.
- [7]. International Atomic Energy Agency. The radiological accident in Nueva Aldea. Vienna: IAEA; 2009.
- [8]. International Organization for Standardization (ISO). ISO 21243. Radiation protection -- Performance criteria for service laboratories performing cytogenetic triage assessment of mass casualties in radiological or nuclear emergencies: general principles and application to dicentric assay. Geneva, Switzerland: ISO; 2008.
- [9]. International Organization for Standardization (ISO). ISO 19238. Radiation Protection – Performance criteria for service laboratories performing biological dosimetry by cytogenetics. Geneva, Switzerland: ISO; 2004.
- [10]. International Atomic Energy Agency. Cytogenetic analysis for radiation dose assessment. Technical Reports Series N° 405. Vienna: IAEA; 2001.
- [11]. International Organization for Standardization (ISO). ISO/IEC 17025. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva, Switzerland: ISO; 2005.
- [12]. Di Giorgio M, Vallerga M B, Radl A, Taja M R, Stuck Oliveira M, Valdivia P, García Lima O, Lamadrid A, González Mesa J E, Romero Aguilera I, Mandina Cardoso T, Guerrero Carbajal C, Arceo Maldonado C, Espinoza M, Martínez López W, Di Tomasso M, Barquinero JF, Roy L, Lloyd D, Lindholm C, Romm H. Latin-American Biological Dosimetry Network (LBDNET) intercomparison exercise-Evaluation through triage and conventional scoring criteria and development of a new approach for statistical data analysis. In: 12<sup>th</sup> International Radiation Protection Association Congress IRPA 12; 2008 Oct 19-24; Buenos Aires, Argentina.
- [13]. International Organization for Standardization (ISO). ISO 43:1997 Proficiency testing by interlaboratory comparisons. And ILAC –G13:8/2007.
- [14]. International Organization for Standardization (ISO). ISO 5725. Precision of test methods - Determination of repeatability & reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests. Geneva, Switzerland: ISO; 1998.
- [15]. International Organization for Standardization (ISO). ISO 13528. Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons. Geneva, Switzerland: ISO; 2005.
- [16]. Méndez Acuña L, González Mesa JE, Di Giorgio M, Martínez López W, Roy L, García Lima O, Stuck Oliveira M, Vallerga M B, Radl A, Taja MR, Bubniak R, Seoane A, De Luca J, Di Tomasso M, Lamadrid A, Romero Aguilera I, Mandina Cardoso T, Valdivia P, Guerrero Carbajal C, Arceo Maldonado C, Espinoza M, Oliveros NV, Barquinero JF. 2010. Interlaboratory Comparison of Dicentric Chromosomes Assay using electronically transmitted Images Submitted to the EPRBioDose 2010 - The joint international symposia on EPR dosimetry and dating and the international conference on biological dosimetry. 10-14 October 2010, Mandelieu- La Napoule, France

## Methodology for cost analysis to evaluate economical impact on denial and delay of shipments of radioactive material

Mario Mallaupoma<sup>1,\*</sup>, Natanael Bruno<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Comissão Nacional de Energia Nuclear; Rua General Severiano 90; 22.294-900 Rio de Janeiro, Brazil

### Abstract

The methodology for cost analysis to evaluate economical impact on denial and delay shows an easier way to evaluate the economical impact on denial and delay of shipments of radioactive material which take in account all the factors involved integrated in four relevant factors, labour cost; equipments, instrumentation and capital cost; material and services; and contingencies.

### 1. Introduction

A major issue for users of radioactive materials is the denial of shipment by some carriers, sea ports and airports. There are problems with all modes of transport sometimes due to the perception of possible hazards rather than the reality. For example some maritime carriers and harbours have refused to transport and handle radioactive material, although the risk created by the material is very low: even excepted packages have been refused. The classification as 'radioactive' gives rise to a negative prejudgement that often makes it impossible or difficult to transport this kind of dangerous goods. Similar perception is not apparently frequent in the case of the other classes of dangerous goods. These situations, which are linked to perception and not to safety issues, may negatively affect future transports by sea, air and road. In order to allow a suitable and safe transport of radioactive material, it is necessary to investigate what actions should be adopted to avoid these problems [1].

This kind of problems causes a lot of negative consequences in the peaceful use of nuclear energy. Also generates economic problems and a very important negative social impact which is the case of medical applications. On the other hand it should be added that the IAEA is surely, in some cases, experiencing difficulties in fulfilling its technical cooperation commitments to developing Member States as a result of these denials of shipments of radioactive material [2].

### 2. Methodology

For the calculation of costs has been produced a spreadsheet which describes and explains each of the aspects considered for the respective calculation. The spreadsheet has a specific behaviour in each country and it would depend on the event resulting in the deny and delay produced during the transportation of radioactive material. In order to standardize the provision of data, they must be shown in U.S. dollars (US\$).

The spreadsheet has been elaborated in a simple and simplified way in order can considers all relevant factors in the case of deny and delay on shipments of radioactive material. The items considered are:

#### 2.1 Labour costs

Labour costs are defined as costs calculated on the basis of the workload for a particular cost item and the labour cost unit rate, in each case of deny and delay. It includes: personnel, travel expenses and complementary social payments.

#### 2.2 Equipments, instrumentation and capital cost

They are the investment costs and are defined as cost for: machines and equipments; instrumentation and capital cost.

#### 2.3 Material and services

---

\* Corresponding author: mmallaupoma@ipen.gob.pe

They are costs due to the materials and services required. It includes: materials; cost for radioactive decay; other materials it includes services for equipment and instrumentation insurances; equipment and instrumentation maintenance and legal and administrative services, expenses.

#### 2.4 Contingencies

Contingencies are defined as excess costs, included as uncertainty factors to cope with circumstances. It includes cost for the use of different routes to the destination; cost for incomplete documentation or additional documentation; cost for denial of ships which transport radioactive material; cost for loss of image of the company; cost for loss of customers and others.

Some specific details :

Personnel considers the participation of personnel, professional, technicians and auxiliary. In this case must be considered the average of the salary for each workers groups. It also considers holliday allowances, extra hours, accidents or occupational diseases.

Travel expenses considers both, travel of the personnel to different places in the same country or travel to another country, too; in order to solve problems on denial and delay of shipments. The cost must consider the number of travel days.

Complementary social payments considers different kind of benefits for workers like insurance including contributions for additional pension funds, medical care, life insurance, social charges, canteen and drink supplies, trade-union guarantees and others. Many of them are not applied in some Member States. In that case the respective cell must be filled in with zero.

In the case of equipment, instrumentation and capital cost should be considered the following:

Machines and equipment must be shown the name of the equipment and machines used, the cost of the equipment and the number of days used. For the depreciation has been considered a useful life of 10 years for each equipment.

Instrumentation considers a useful life of five years.

Capital cost considers financing cost for the respective work capital obtained by companies and organisations.

Material and services should consider the material and their amount used and the unit price of all of them. Cost for radioactive decay considers the cost for the loss of activity of the respective radioisotope produced by the denial or delay on shipments of radioactive material. Other material considers all kind the materials which were not considered before. Services considers all kind of services required for the transportation of shipments of radioactive material.

Insurance for equipment basically considers insurance for equipment and instrumentation used. Maintenance of equipments considers services required for the maintenance of equipment, instrumentation and all kind of unit required for the transportation of radioactive material. Services for legal and administrative aspects due to denial and delay considers cost for legal and administrative services due to the denial and delay of radioactive material.

Contingencies considers excess costs, included as uncertainty factors to cope with circumstances. Sometimes they can represent a high contribution in the cost produced in cases of denial and delay of shipments of radioactive material. Cost for deviation of the shipment considers the deviation from the original planned route from the consignor to the consignee. It means that the shipment has to go to another country or city before reaching its final destination. Cost for incomplete information takes in account additional documentation to the required documents in the Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material. Also can be considered additional documentation required for specific national regulations. Cost for denial to the entrance of ships transporting radioactive material considers some situations where there are not a knowledge of National Regulations for the transportation of radioactive material and the ship must come back to their port of origin. Cost for the loss of image of the company u organization considers cost to recover the image lost because the shipments were not sent to the customers just in time. The

customers believe that all the problem and responsibility for not receiving the material correspond to the consigner or provider of radioactive material because they did not take in account the necessary precautions. This aspect can be considered as a subjective factor by some Member States. Loss of customers considers lost of costumers because they did not receive the radioactive materials just in time. They prefer to change the providers. Others, consider another kind of contingencies which were not considered in the previous items. They can consider legal expenses, licenses expenses, public relations, specific taxes.

### 3. Result

This methodology has been used by for many countries in the Latin America region and other countries in the world in order to show and sensitize the problem related to cases of delay and denial of shipments of radioactive material. For instance in the case of Brazil has shown some results obtained and they have verified that the economic impact is very high in some cases due to the decay of radioactive material with short half life (2).

Some countries in Europe have considered use the methodology but in a simplified way. They prefer do not consider subjective factors.

According to the feedback received from Member States of the International Atomic Energy Agency the methodology proposed for cost analysis to evaluate economical impact on denial and delay of shipments of radioactive has considered the main factors and it is a good tool to make the respective analysis. Some recommendations has been given in order to evaluate the social impact.

### 4. Conclusion

The proposed methodology has been considered as a good tool for Member States of the IAEA and it has been used in some cases for some Latin America countries.

The methodology considers also subjective factors and some countries consider that they should not be considered in a first step in order to simplify the respective calculation. This position has been adopted by countries of Mediterranean Europe.

Taking in account the respective use of the methodology and the respective feedback received from Member States of the IAEA the methodology will be updated after three years.

### 5. References

- [1] International Atomic Energy Agency. Regulation for the safe transport of radioactive material. Safety Standards Series No. TS-R-1. Vienna: IAEA, 2005.
- [2] Mallaupoma M, López J, Sobreira A. Rechazos y demoras en el transporte de materiales en la Región Latinoamericana y El Caribe. In: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2007. Lima: IPEN; 2008. p. 269-271.

## **Interregional Third Workshop for Ibero-American Laboratories Network of Radioactivity Analysis in Foods (RILARA), Lima, Peru 2009**

José Osores\*, Raúl Jara

División de Protección Radiológica Ocupacional y Ambiental  
Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú

### **Resumen**

El Tercer Taller Interregional RILARA tuvo lugar en las instalaciones del Centro Superior de Estudios Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), Lima Perú, de 26 al 30 de Octubre de 2009. El tema central de este Taller fue la implementación de sistemas de gestión de la calidad en los laboratorios de análisis de radiactividad en alimentos. Este evento contó con la participación de especialistas de 7 países de la región de Ibero América: Argentina, Brasil, Chile, Cuba, España, México y Perú. En el taller se trataron temas relacionados con el mejoramiento del sistema de calidad de los laboratorios, la necesidad de participación de autoridades gubernamentales y científicos a cargo de los controles de los contaminantes en alimentos, con el objetivo de intercambiar información sobre temas de interés común y la necesidad de establecer un consenso sobre la forma de reportar los valores de incertidumbres en los informes de ensayo entre otros.

### **Abstract**

The Third RILARA Interregional Workshop was held at the Advanced Centre for Nuclear Studies facilities of the Peruvian Nuclear Energy Institute (IPEN), Lima Peru, from 26 to 30 October 2009. The focus of this workshop was the implementation of systems of quality management in the laboratories of radioactivity in food analysis. This event was attended by specialists from seven countries in the region of Ibero-America: Argentina, Brazil, Chile, Cuba, Spain, Mexico and Peru. This workshop addressed issues related to the improvement of the quality system of laboratories, the need for participation of government authorities and scientists by controls on contaminants in food, with the aim of exchanging information on topics of common interest and need to establish a consensus on how to report the values of uncertainties in test reports among others.

### **1. Introduction**

The accidental discharge of radioactive materials in the environment could be producing a significant effect on the trade of agricultural products and foods; for this reason the radiological surveillance of foods and drinking water has been made a practice in order to give to the population assurance of alimentary innocuousness of foods and to facilitate the national and international foods trade. The Ibero-American Laboratories Network of Radioactivity Analysis in Foods (RILARA) is a thematic network that was conformed in the year 2007 with the financial support of the Ibero-American Program of Science and Technology for the Development (CYTED). The network brings together laboratories from Argentina, Brazil, Chile, Cuba, Ecuador, Spain, Mexico, Peru and Venezuela. Their mission is to create a

collaboration framework that allows in the future developing new common actions. This paper presents the activities and findings of the Interregional Third Workshop of the RILARA Network, which was held in Lima, Peru, between 26 and 30 October 2009.

### **2. Working Sessions**

The first-day session was dedicated to the presentation of the requirements of ISO IEC 17025:2005, which is the model system of quality management used internationally for calibration and testing laboratories. At the end of this talk, a debate on the issues: delivery of results to clients and the need for an optimal analysis of the workload of the laboratories and the characteristics of the test methods to meet with these deadlines.

---

\* Corresponding author: josores@ipen.gob.pe

During the first working session, Mr. Jose Manuel Osores, Coordinator for Peru, presented the historical background of the network [1-2], taking stock of the activities undertaken since 2007 to date.



Mrs. Isis María Fernández, presented the results of the project ARCAL LXXIX “Harmonization of Technical Requirements and Quality Specifications for the Control of Radioactive Contaminants in Food” which served as a starting point the draft Thematic Network RILARA.

The last presentation of the day was related to the evolution of RILARA website in the last year of work by Ana Cristina de Melo Ferreira, Coordinator for Brazil RILARA and Network Administrator [4-5].



The sessions on Tuesday, 27 were dedicated to the presentation by each of the laboratories participating in the workshop, their experiences in implementing management systems quality [3]. Among the topics discussed were: types of radionuclides most requested in connection with certification of food radiation, analysis of natural radioactivity in food, implementation of ISO 9001 in the institutions to which they belong RILARA laboratories, operating range of the test of gamma emitting radionuclides, establishment of measurement times and critical limits optimal calibration of gamma spectrometry systems for different types of

samples, a situation in Spain in relation to the amount of radioactivity existing laboratories and calibration of nuclear instrumentation in these labs, restrictions regarding activity levels in the samples for entry to the lab and surface contamination controls, opinions and interpretations in the reports of results, effectiveness of measures to overcome, the potential impact of uranium mining in Mexican farming areas and treatment of milk samples received in Mexico with high levels of activity following the Chernobyl accident, facilities, environmental conditions and food sampling.



During the day, participants proceeded to place the posters related to their activities in their respective laboratories.

On Wednesday, 28 working sessions were dedicated to the presentation of different topics of interest among which were: first results of the analytic exercise RILARA, proposed the second inter-laboratory proficiency test exercise, example of the calculation of critical limits for determination of radionuclides in gamma spectrometry, pretreatment of food samples, presentation of the IAEA ALMERA Network, IPEN participation in interlaboratory comparison exercises, analysis of radioactive elements in fishmeal in IPEN and food irradiation [6]. Issues related to the impact to the implementation of systems of quality management in obtaining reliable analytical results, typical methods for the determination of uranium in potatoes, existing delays for the withdrawal of proficiency testing samples from the customs respective countries, possibility of a certified reference material in the matrix fishmeal, benefits of food irradiation techniques were discussed.

The last day, topics on the Peruvian Standardization System, Peruvian Health Legislation, neutron activation analysis, radioactivity in milk [7] and food safety in seafood were discussed. Were discussed such topics as the influence of air pollution in Peruvian food, studies of environmental samples in addition to studies on food, the Peruvian Service of Accreditation as national body of testing laboratories, need to create in Peru the normative basis and radiological monitoring systems for food, for both artificial and natural radioactivity and the possibility of preparing a reference material for fishmeal.

### 3. Conclusions

Establishment of close coordination between the organizers and evaluators of future proficiency tests on the preparation of the foundations of the financial year. Publication of the final version of the procedure for pre-treatment of food samples reviewed in the framework of the Network. Notify to ALMERA network of existing problems in Latin America for the withdrawal of samples for proficiency test of customs. Need to establish common forums in which they participate, both health authorities, regulatory and scientific personnel in charge of surveillance of food contaminants, with the aim of exchanging information on topics of common interest. Need to work on the characterization of base values for natural radionuclides in food. Need for reference materials in different matrices and geometries, with the aim of meeting the requirements of quality systems. Distribution of software developed by Cuba for gamma spectrometric detectors calibration by Monte Carlo simulation to countries interested in participating in the workshop use. Study the advisability of establishing a consensus on how to report the values of uncertainties in test reports.

### 4. Acknowledgements

The authors wish to express their gratitude to the Ibero-American Programme on Science and Technology (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología - CYTED) for their support in funding the activities of the RILARA Network.

### 5. References

- [1] Igllicki FA, Ferreira A, Fernández IM, Vasquez L, Romero ML, Aguirre J, Osore JM, Flores Y. RILARA: Ibero-American Laboratories Network of Radioactivity Analysis in Foods. In: Abstracts 12th International Congress of the International Radiation Protection Association IRPA 12; 2008 Oct 19-24; Buenos Aires, Argentina; 2008. p. 454.
- [2] Igllicki FA, Ferreira A, Fernandez IM, Vasquez L, Romero M, Aguirre J, Osore JM, Flores Y. Red Iberoamericana de Laboratorios de Análisis de Radiactividad en Alimentos. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico. 2007. Lima: IPEN; 2008. p. 253-257.
- [3] Fernández IM, Rodríguez GV, Carrazana JA, Martínez N. Resultados de la vigilancia radiológica de los alimentos de importación en Cuba. En: Memorias del VI Congreso Regional sobre Seguridad Radiológica y Nuclear; 2003; Lima, Perú; 2003.
- [4] Red Iberoamericana de Laboratorios de Análisis de Radiactividad en Alimentos (RILARA). [homepage en Internet]. 2009. Disponible en URL: <http://www.rilara.com.br>
- [5] Ferreira A, Osore JM, Fernández IM, Igllicki FA, Vasquez L, Romero ML, Aguirre J, Flores Y. 2008. Web Page of the Ibero-American Laboratories Network of Radioactivity Analysis in Foods: a Tool for Interregional Diffusion. In: Abstracts 12th International Congress of the International Radiation Protection Association IRPA 12; 2008 Oct 19-24; Buenos Aires, Argentina; 2008. p. 160.
- [6] Lopez E, Osore JM, Gonzales S, Martinez J, Jara R. Radioactivity Surveillance in Peruvian Fishmeal. In: Abstracts 12th International Congress of the International Radiation Protection Association IRPA 12; 2008 Oct 19-24; Buenos Aires, Argentina; 2008. p. 199.
- [7] Osore JM, Gonzáles S, Martínez J, López E, Jara R. Radiactividad en Productos Lácteos de Perú. Radiobiología. 2007; 7: 157-165.

## Casos de Rechazos y retrasos en el transporte de material radiactivo en la Región de América Latina y el Caribe

Mario Mallaupoma<sup>1,\*</sup>, Ana Sobreira<sup>2</sup>, Nathalia Braga<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470,  
Lima 41, Perú

<sup>2</sup>REM Industria e Comercio Ltda, Rua Columbus,282, São Paulo, Brasil

### Resumen

Los materiales radiactivos se utilizan en el diagnóstico y terapia médica, aplicaciones industriales, producción de energía nuclear y la investigación. Cada día se llevan a cabo millones de procedimientos de diagnóstico en todo el mundo utilizando material radiactivo; y desde luego, en la región de América Latina y el Caribe. A pesar de un fuerte historial de seguridad y buen desempeño general, la inquietud y temor en relación con el transporte de material radiactivo se mantiene. El aumento de los rechazos y retrasos en el transporte de materiales radiactivos no solo generan problemas económicos, sino sobre todo una preocupación social, debido a que se está afectando a nivel mundial la posibilidad de hacer un adecuado uso pacífico de la energía nuclear. Es por ello que se requiere generar una sensibilización en los sectores gubernamentales y privados a fin de evitar o reducir los casos de rechazos y demoras, y de esa manera reducir el impacto social negativo sobre todo en el sector salud. El presente trabajo de investigación muestra los casos de rechazos y demoras producidos en la región de América Latina durante los años 2007 y 2008, así como la caracterización de los mismos.

### Abstract

Radioactive materials are used in medical diagnosis, therapy, industrial applications, energy production and nuclear research. Each day, millions of diagnostic procedures are carried out around the world using radioactive material, and certainly in Latin America and the Caribbean. Despite the strong safety record and good overall performance, the anxiety and fear regarding the transport of radioactive materials is maintained. The increase in denials and delays in transport of radioactive materials produce not only economic problems but also above all creates a social concern. It is affecting their respective use in medicine and, of course, the peaceful use of nuclear energy. Taking in account all those aspects mentioned before it is necessary generate awareness in government and private sectors to avoid or reduce the incidence of denials and delays and thereby reduce the negative social impact especially in the health sector. The research developed in Latin America and the Caribbean countries show the cases of denials and delays produced in the period 2007-2008 and their respective characterization of them.

### 1. Introducción

Los materiales radiactivos se utilizan para muchas aplicaciones que benefician a la humanidad, en diversos campos como la agricultura, industria, medicina, generación de energía eléctrica y la investigación. En casi todos los casos, los materiales radiactivos se generan en lugares distintos a donde van a ser utilizados por lo que requieren emplear una vía de transporte adecuada. El transporte puede realizarse dentro de un mismo país, o a menudo implica el movimiento entre países. Como las aplicaciones pacíficas de los materiales radiactivos fueron creciendo, la comunidad

internacional reconoció desde un principio que era necesario desarrollar normativas y reglamentaciones que permitieran garantizar la seguridad de los transportistas, el público y su medioambiente. Debido a los períodos cortos de semidesintegración, el rechazo o demora en el transporte de radionucleídos como el flúor-18 o yodo-131 tiene un fuerte impacto negativo, especialmente en el sector salud.

El tema de los rechazos y retrasos en el transporte de materiales radiactivos no es solo un problema para los especialistas, sino

---

\* Correspondencia autor: mmallaupoma@ipen.gob.pe

que afecta la vida de millones de personas en todo el mundo. La mayoría de los materiales radiactivos enviados cada día se utiliza en los hospitales para el diagnóstico y el tratamiento de varias enfermedades, cualquier retraso o denegación de envío puede hacer perder la posibilidad de aplicación de esos radioisótopos. Los casos se presentan en las diferentes vías modales de transporte; es decir, por vía aérea, marítima y terrestre.

## 2. Metodología

Se consideró la elaboración de reportes por parte de profesionales de los países de la región de América Latina y el Caribe haciendo uso del protocolo técnico elaborado para la región. Este protocolo toma como base el desarrollado por el Comité Ejecutivo Internacional del Organismo Internacional de Energía Atómica, a la que se ha hecho adaptaciones considerando la propia realidad de los países latinoamericanos [1].

Los reportes técnicos de los casos de rechazos y retrasos fueron remitidos mensualmente por los diferentes países y fueron recopilándose en una base de datos elaborada para tal fin. Se identificaron las principales situaciones de rechazos y retrasos presentadas, las debilidades registradas y finalmente se realizó la caracterización de los bultos que estuvieron inmersos en los casos específicos reportados.

Se consideraron las diferentes etapas:

- a) Elaboración de protocolo para reportes.
- b) Reportes de los países.
- c) Recopilación de reportes en base de datos.
- d) Caracterización de casos de rechazos y retrasos.
- e) Caracterización de los bultos en los casos reportados.
- f) Evaluación de reportes.

## 3. Resultados y discusión

Se presentan los resultados de los casos presentados durante los años 2007 y 2008.

La elaboración de una base de datos como una herramienta para identificar las causas de los casos presentados, permitió identificar las causas de los casos de rechazos y retrasos. Se puede mencionar como los más frecuentes e importantes: la falta de una adecuada infraestructura en algunos aeropuertos; algunos remitentes no tienen una buena

logística; falta de una adecuada capacitación y entrenamiento de las empresas de carga sobre los materiales de la clase 7; algunas compañías aéreas dan prioridad al transporte del equipaje de sus pasajeros y no al transporte de materiales radiactivos; hay pocas líneas marítimas que transportan materiales radiactivos; algunos países no aceptan el transporte en tránsito de materiales radiactivos hasta su destino final.

### 3.1 Lecciones aprendidas

Considerando las acciones desarrolladas y su correspondiente implementación y respuesta obtenida se han identificado una serie de aspectos que deben tenerse en cuenta en las acciones futuras a desarrollar. Estas son consideradas como “lecciones aprendidas”.

### 3.2 Difusión

Los Puntos Focales Nacionales (NFP) deberían ser involucrados en los problemas de rechazos y demoras de expediciones de materiales radiactivos o, al menos, sobre sus consecuencias; de otra manera, no lograrán comprender la problemática y por lo tanto, no serán capaces de trabajar en este tema.

### 3.3 Cabildeo

El problema de los rechazos y demoras, independientemente de ser considerado como un problema regulatorio, debe identificarse el “quién” y el “cómo” va a ser solucionada de la manera más eficaz cumpliendo las normas existentes.

Las autoridades competentes en puertos, aeropuertos y transporte terrestre no conocen sobre los aspectos de materiales radiactivos para usos y aplicaciones en diagnóstico y tratamiento en medicina.

### 3.4 Comunicación

Los usos y aplicaciones de los materiales radiactivos para fines médicos deben ser difundidos masivamente en todas las regiones y Estados Miembros del OIEA. Asimismo, debe difundirse las consideraciones de seguridad que están colocadas en los bultos que contienen los materiales radiactivos.

Es fundamental involucrar a representantes de las compañías privadas de transporte de materiales peligrosos, de tal forma que puedan conocer mejor los impactos

producidos por los rechazos y demoras de expediciones de materiales radiactivos.

Algunas autoridades competentes consideran que el rechazo y demora en el transporte de materiales radiactivos es un tema comercial y no un problema regulatorio.

### 3.5 Capacitación, Entrenamiento y Educación

Es necesario reforzar las acciones de entrenamiento y capacitación a todo nivel, principalmente dirigidas al sector de transportistas, pilotos y representaciones, sobre el transporte de materiales radiactivos y los impactos sociales y económicos negativos que ocasionan los rechazos y demoras. Los cursos deben ser más específicos considerando los diferentes grupos objetivos y audiencias [2].

Las autoridades competentes de puertos, aeropuertos y de transporte terrestre muchas veces no conocen sobre aspectos de materiales radiactivos, especialmente las relacionadas con las aplicaciones médicas.

### 3.6 Aspectos Económicos

Es necesario evaluar este aspecto considerando el trabajo desarrollado inicialmente en la región de América Latina. El análisis debería considerar los siguientes aspectos: costos laborales adicionales, costos de seguros, pérdida de clientes, pérdida de expectativa de vida, etc. [3].

### 3.7 Casos Reportados

En las Figuras 1 y 2 se muestran el número de casos de rechazos y demoras de expediciones de materiales radiactivos presentados para las correspondientes vías modales, mientras que en la Figura 3 se muestran los tipos de bultos que estuvieron involucrados en casos de rechazos y de retrasos. El 85% de los casos presentados corresponden a los materiales radiactivos de corto período de semidesintegración que se utilizan con mayor intensidad en las aplicaciones médicas. La información considera los años 2007 y 2008.

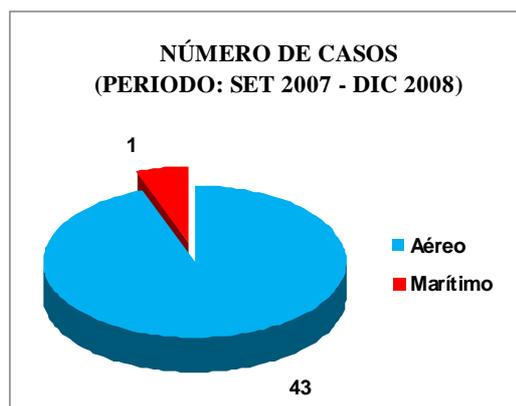


Figura 1. Número de casos reportados.

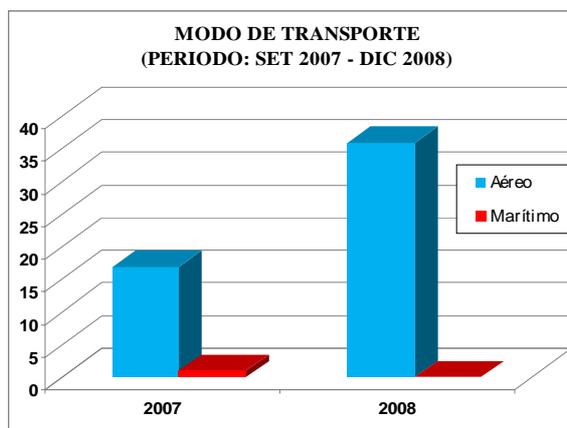


Figura 2. Modo de transporte donde se produjeron casos de rechazos y retrasos.

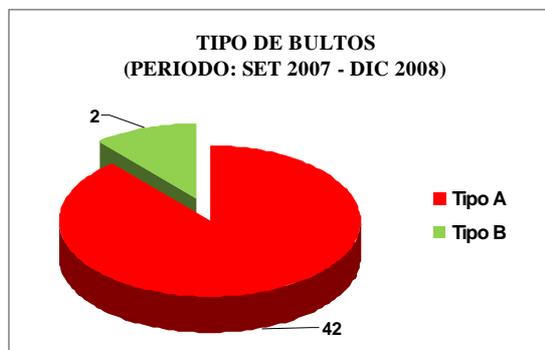


Figura 3. Tipos de bultos involucrados en casos de rechazos y retrasos.

## 4. Conclusiones

Se ha identificado que los problemas de rechazo y retraso en el transporte de los materiales radiactivos se debe, en gran parte, a que los aeropuertos no cuentan con una infraestructura adecuada.

Es necesario seguir reforzando las coordinaciones para promover una mayor interacción entre los Estados Miembros, las regiones y el Comité Directivo Internacional.

La capacitación y entrenamiento del personal debe ser una actividad permanente. Se deben realizar cursos específicos sobre transporte de material radiactivo considerando los grupos objetivos.

Es positivo el reporte de los casos presentados al Comité Directivo Internacional con la finalidad de elaborar e implantar las estrategias para evitar que sigan ocurriendo rechazos y demoras en el transporte de materiales radiactivos en las diferentes regiones. Los reportes de demoras y rechazos en la región latinoamericana van a ayudar al Comité a identificar y caracterizar los diferentes tipos de dificultades presentadas.

Los casos reportados permitirán tener una buena información de referencia útil para las otras regiones, con la finalidad de identificar problemas similares.

Los informes muestran que el mayor número corresponde a casos de demoras y no a rechazos.

Las dificultades han involucrado a bultos conteniendo radioisótopos de corto período de semidesintegración que estaban destinados a aplicaciones médicas, ocasionando un importante impacto social.

Es importante seguir reforzando las acciones de entrenamiento y capacitación sobre todo al personal operativo. Los temas y programas de entrenamiento deben adecuarse a los diferentes segmentos de personal involucrado; asimismo, deben prepararse materiales de enseñanza más didácticos. En

ese sentido, los países del Grupo de Montevideo han adecuado el material técnico proporcionado por el OIEA.

También es necesario que las instituciones internacionales como las regionales puedan reforzar sus acciones de coordinación a través del Comité Directivo Internacional, para encontrar estrategias que eliminen o disminuyan los casos de retrasos y rechazos en el transporte de materiales radiactivos.

## 5. Bibliografía

[1] Mallaupoma M, López J, Sobreira A. Rechazos y demoras en el transporte de materiales en la Región Latinoamericana y el Caribe. In: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2007. Lima: IPEN; 2008. p. 269-271.

[2] International Atomic Energy Agency. Regulation for the safe transport of radioactive material. Safety Standards Series No. TS-R-1. Vienna: IAEA, 2005.

[3] Mallaupoma M. The denial of shipments of radioactive material: A worldwide social problem. En: 12<sup>th</sup> International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA 12). 2008 19-24 Oct.; Buenos Aires, Argentina.

## Método para la evaluación de desempeño de los proyectos de investigación en el IPEN

Carlos Gayoso\*

Instituto Peruano de Energía Nuclear, Oficina de Planeamiento y Presupuesto, Lima, Perú

### Resumen

Se presenta una propuesta metodológica para la evaluación de desempeño de los proyectos de investigación desarrollados en el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). La característica principal del método es medir en principio en forma independiente los avances porcentuales de cada proyecto de investigación en función de las actividades y pasos a realizar para el logro de los objetivos.

### Abstract

This work shows a methodological proposal for the performance assessment of the research projects developed in the Peruvian Nuclear Energy Institute (IPEN). The main feature of the method is to measure independently the percentage advances of each research project according to the activities and steps directed to achieve the goals.

### 1. Introducción

En toda gestión de planeamiento es importante tener en consideración que las diversas actividades que se realizan deben estar orientadas y alineadas hacia los objetivos estratégicos de la entidad. Estos objetivos nos orientan a lo que debemos lograr y los indicadores (compuesto por una unidad de medida y la cantidad a alcanzar como meta) nos ayudan a medir el avance respecto a la meta trazada.

Toda actividad y proyecto requieren de recursos de diversa índole para llevar a cabo las acciones necesarias para el logro de los objetivos específicos, como es la adquisición de insumos, contar con recursos humanos, equipos, servicios de terceros, energía eléctrica, agua, comunicaciones, etc.

Estos recursos pueden ser financiados mediante diversas fuentes: el Estado (Tesoro Público), la propia entidad con sus propios recursos generados, otras entidades nacionales o internacionales sin fines de lucro, la empresa privada, etc. Todas estas organizaciones cuentan también con sus propios objetivos y, como es lógico, buscan el mejor desempeño de la actividad a la cual están financiando.

Nuestro país que tiene diversos problemas de orden científico tecnológico pendientes de ser resueltos y que tiene limitados presupuestos para dar soluciones a las diversas necesidades

a nivel nacional, es imprescindible que los recursos sean bien orientados y optimizados, entre ellos los que financian a los proyectos de investigación del país.

Por esa razón, los proyectos de investigación deben estar orientados a aportar con soluciones científico – tecnológicas a las diversas necesidades que se presentan en la sociedad.

En principio, una de las definiciones habituales para un proyecto de investigación sostiene que es un procedimiento científico destinado a recabar información y formular hipótesis sobre un determinado fenómeno científico o social, y como primer paso, debe plantearse claramente el problema y la formulación de lo que se desea investigar.

Una de las definiciones de proyecto de investigación científica [1] es el de realizar búsqueda intencionada de conocimientos o de soluciones a problemas de carácter científico. Sin embargo, la investigación tecnológica es la utilización del conocimiento científico para el desarrollo de tecnologías.

Los principales tipos de investigación [1] en general son las siguientes:

- Investigación básica: También llamada investigación fundamental o investigación

---

\* Correspondencia autor: cgayoso@ipen.gob.pe

pura se suele llevar a cabo en los laboratorios, contribuye a la ampliación del conocimiento científico, creando nuevas teorías o modificando las ya existentes. Investiga leyes y principios.

- Investigación aplicada: Es la utilización de los conocimientos en la práctica, para aplicarlos en la mayoría de los casos en provecho de la sociedad.
- Innovación tecnológica [2]: Es la combinación de carácter temporal de recursos humanos, técnicos y financieros en una organización, dirigidos a la introducción de un nuevo producto o proceso en el mercado.

Otras definiciones muy parecidas las formula Christoph Friedrich Von Braun [3].

A la actividad de planeamiento y gestión le interesa asegurar que los proyectos de investigación estén bien orientados a los objetivos trazados y conocer lo que se está investigado. Al igual, cuando se planifica el proyecto de investigación [4] debe plasmarse el porqué, para qué, cuál es el valor o la importancia del hecho o fenómeno a investigar, de si la investigación tiene criterios de prioridad y novedad, además del grado de aplicabilidad.

## 2. Objetivo

El objetivo es explicar el método de evaluación de desempeño, que determina el grado de cumplimiento o avance de cada proyecto de investigación registrado en el “Banco de Proyectos del IPEN”.

La evaluación de desempeño mide en forma individual y ponderada cada proyecto, a nivel institucional, su grado de avance y cumplimiento respecto a la meta trazada.

## 3. Antecedentes

El IPEN, desde su creación, tiene entre sus objetivos el desarrollo de proyectos de investigación aplicando la tecnología nuclear y radiológica a la solución de problemas en diversas áreas de la sociedad peruana.

Uno de los objetivos estratégicos del IPEN, considerado en el Plan Estratégico Institucional 2004-2009, señala lo siguiente:

*“Generar y transferir conocimientos y tecnologías en el área nuclear, mediante el desarrollo y difusión de la investigación aplicada y desarrollo tecnológico, promoviendo su uso en los ámbitos donde pueda contribuir al mejoramiento de la calidad de vida y bienestar de la población”.*

De acuerdo con este objetivo el Plan Operativo Institucional (POI) de cada año, considera los avances y grado de cumplimiento de las metas trazadas para cada uno de los 3 objetivos estratégicos. Uno de los indicadores considerados es la medición del % de avance del banco de proyectos de investigación, que en su mayoría corresponde a investigación aplicada e innovación tecnológica.

## 4. Metodología

En el año fiscal 2009, el IPEN contó con 26 metas presupuestales, de las cuales el POI midió a 25 metas. La otra meta estaba relacionada con obligaciones previsionales (pensiones).

De las 25 metas presupuestales que fueron medidas, 6 contenían a los 26 proyectos de investigación que fueron formuladas en los respectivos Planes Operativos de las Unidades Orgánicas.

Para la medición del grado de avance de los proyectos, se consideraron dos componentes: el primero estimado por el investigador, fijando un % de peso para cada actividad, respecto al total del proyecto a realizar en el año. El segundo componente corresponde a la estimación de cuánto de ese % va realizarse mensualmente.

Esta formulación se realiza por cada proyecto de investigación en un Formato específico, con la siguiente información:

- Nombre del proyecto
- Objetivo
- Fecha de inicio
- Fecha de finalización
- Presupuesto total
- Fuente de financiamiento
- Usuarios co-ejecutores
- Responsable del proyecto

El Formato “Gestión de proyectos de investigación” se denominó 1-B:

**Tabla 1:** Formato 1-B.

**FORMULACIÓN DEL PLAN OPERATIVO INSTITUCIONAL 2009**

ACTIVIDAD :  
 COMPONENTE :  
 META N° :

**FORMATO 1 - B: GESTIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN APLICADA Y/O DESARROLLO TECNOLÓGICO**

Proyecto: Py IA N°

Nombre del Proyecto:

Objetivo del Proyecto:

Fecha de Inicio:

Fecha de Finalización:

Presupuesto Total estimado:

Fuente de Financiamiento:

Usuarios Co-Ejecutores Externos al IPEN del Proyecto de I&D:

Responsable del Proyecto:

Nº	Actividad	Peso relativo %	Monitoreo	ENE	FEB	MAR	I TRIM	ABR	MAY	JUN	II TRIM	JUL	AGO	SET	III TRIM	OCT	NOV	DIC	IV TRIM	TOTAL ANUAL			
1	% de Avance Inicial 2009: Al 31 de Diciembre del 2008 (a llenarse por PLPR)	%	Programado																		%		
			Ejecutado																				%
2		%	Programado																			%	
			Ejecutado																				%
3		%	Programado																			%	
			Ejecutado																				%
			Ejecutado																				%
10	% TOTAL DE AVANCE DEL PROYECTO EN EL AÑO 2009	%	Programado																			%	
			Ejecutado																				%

**Tabla 2.** Formato 3 (Banco de Proyectos).

Nº	Nombre del Proyecto de Investigación	Prog. Anual	Monitoreo	ENE	FEB	MAR	I TRIM	ABR	...	DIC	IV TRIM	TOTAL ANUAL
1		%	Programado									
			Ejecutado									
2		%	Programado									
			Ejecutado									
...		%	Programado									
			Ejecutado									
n		%	Programado									
			Ejecutado									
Nivel de Avance Total de los Proyectos en el Año 2009		%	Programado									
			Ejecutado									

La información porcentual consolidada en el Formato 1-B corresponde a un solo proyecto, y cada proyecto cuenta con este respectivo formato.

La evaluación del grado de avance o ejecución del banco de proyectos de investigación, corresponde a la suma y consolidación porcentual de cada una de ellas, en cada mes de programación y ejecución.

Esta consolidación se presenta en la Tabla 2, el Formato 3 como matriz resumen utilizado para la evaluación del banco de proyectos.

## 5. Conclusiones

Este método de medición de nivel de ejecución de los proyectos de investigación, ha ido mejorando cada año según la experiencia, y se espera que a un futuro sea cada vez más objetivo, especialmente en la asignación del % correspondiente a cada actividad con respecto al total.

El método desarrollado ha permitido hacer un seguimiento mensual de la ejecución durante el año sobre el avance de cada proyecto, permitiendo a la Institución evaluar el grado

de cumplimiento en cada uno, así como de su ponderación a nivel Institucional.

Queda pendiente a futuro ir desarrollando un mecanismo más objetivo de verificación de logros y avances reportados, así como su orientación a la meta y objetivo trazado.

## 6. Referencias

- [1]. Wikipedia. Investigación. [serie en Internet]. Disponible en URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Investigaci%C3%B3n>
- [2]. Pavón Morote J, Hidalgo Nuchera A. Gestión e innovación. Un enfoque estratégico. Madrid: Piramide; 1997.
- [3]. Von Braun CF. Innovación industrial: investigación y desarrollo: las armas de los 90. México: Prentice-Hall Hispanoamericana; 1997.
- [4]. Monografías. Elaboración de los proyectos de investigación. [serie en Internet]. 2009. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos/elabproyec/elabproyec.shtml>

## **Cursos regionales de capacitación en protección radiológica como estrategia para mejorar la cultura de seguridad**

Mario Mallaupoma<sup>1,\*</sup>, Edgard Medina<sup>2</sup>, Carlos Pita<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Dirección de Transferencia Tecnológica, Centro Superior de Estudios Nucleares, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### **Resumen**

El Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN) del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) identificó la necesidad de desarrollar e implementar un programa de capacitación a nivel regional sobre protección radiológica, que facilite la participación del personal de las zonas más alejadas del país. De esa manera se permite que el personal ocupacionalmente expuesto cumpla con las regulaciones nacionales y mejore la cultura de seguridad en una aplicación que genera las mayores dosis colectivas. Esta nueva estrategia ha sido muy bien recibida por la población nacional del interior del país y se ha logrado un mejor posicionamiento del IPEN en cuanto a su reconocimiento como ente rector de formación y capacitación. En el presente documento se muestra el trabajo desarrollado y los resultados de la capacitación.

### **Abstract**

The Advanced Centre for Nuclear Studies (CSEN) of the Peruvian Institute of Nuclear Energy (IPEN,) identified the need to develop and implement a training program at a regional level about radiological safety for people who lives in outlying areas of the country. This strategy has allowed that this personnel occupationally exposed may comply with national regulations and, at the same time, improving the safety culture in an application that generates the highest collective dose. In turn, this new strategy has been very well received by the national population inside the country and also has allowed a better positioning of IPEN in their recognition as lead agency for education and training. This paper shows the characteristic of work developed within this new strategy and also the results of the training.

### **1. Introducción**

Una de las tareas más importantes para mejorar la cultura de seguridad en protección radiológica es la capacitación y entrenamiento que se pueda dar en las diferentes aplicaciones de las radiaciones ionizantes. La práctica de mayor aplicación en el Perú es la utilización de las radiaciones ionizantes en radiodiagnóstico por lo que resulta fundamental la capacitación del personal involucrado en los temas de protección radiológica [1]. El Centro Superior de Estudios Nucleares del IPEN es una de las entidades de mayor prestigio en nuestro país que brinda este servicio; sin embargo, los cursos estaban focalizados mayormente a impartirse en su sede central en Lima. Esta situación generaba una serie de limitaciones para el personal profesional y técnico que trabaja en el interior del país, no solo por los costos que involucra el tener que desplazarse

hacia Lima, sino porque el tiempo de capacitación va en desmedro de la atención del servicio en el departamento, provincia o distrito.

La capacitación resulta fundamental en el trabajo con radiaciones ionizantes, porque permite conseguir diferentes objetivos como la de proporcionar conocimientos básicos de protección radiológica, mantener y reforzar las competencias del personal en términos de conocimiento, habilidad y aptitud. También se puede incluir la capacitación para mejorar el desarrollo potencial de la carrera profesional de los individuos seleccionados.

La capacitación continua debe considerarse por consiguiente, como una parte integrante de las operaciones de una organización relacionada con las aplicaciones de las radiaciones ionizantes, de tal manera que

---

\* Correspondencia autor: mmallaupoma@ipen.gob.pe

permita mejorar la cultura de seguridad. La capacitación continua basada en un enfoque sistemático es esencial para asegurar que se mantengan y actualicen los niveles de cualificación y competencias, cuando sea necesario. Esta capacitación debe realizarse de forma regular. El programa debe involucrar a todo el personal cuyas funciones se relacionan con la seguridad y debe reflejar las necesidades especiales de cada categoría de los participantes.

En la medida que la capacitación se pueda brindar a todo el personal se podrá mejorar la cultura de seguridad y reducir los niveles de dosis de la población en general, considerando al personal ocupacionalmente expuesto, público en general y pacientes.

## 2. Metodología

La metodología adoptada para implantar la nueva estrategia para la mejora de la cultura de seguridad, consiste en realizar la promoción de los cursos de capacitación que ofrece el CSEN a través de los colegios profesionales y entre los usuarios de las instalaciones relevantes.

Los cursos se han desarrollado con un enfoque teórico-práctico y la realización de talleres para la discusión de los resultados prácticos con los diferentes equipos. Los talleres focalizan su atención en el análisis y discusión sobre el estado situacional en cómo fue encontrada la instalación, los equipos y los procedimientos de trabajo.



**Figura 1.** Exposiciones teóricas.

En la figura 1 se muestra el desarrollo de las clases teóricas, donde se procura utilizar mayormente gráficos para explicar en forma sencilla los diferentes conceptos. En la figura 2 se puede visualizar las clases prácticas que se desarrollan en las propias instalaciones

donde se realiza el curso, lo cual conlleva un efecto multiplicador debido a que se analiza el estado situacional en que se encuentran las instalaciones por el mismo personal que la opera.



**Figura 2.** Práctica de protección radiológica en radiodiagnóstico.

En la figura 3 se muestra el taller participativo, su gran concurrencia y en donde cada grupo de trabajo, a través de su relator identifica las debilidades y fortalezas de las instalaciones. De esta manera, se promueve un amplio debate con el fin de focalizar la atención en los aspectos más relevantes que ayuden a disminuir las dosis recibidas por el personal en su conjunto.



**Figura 3.** Taller sobre evaluación de instalación de radiodiagnóstico.

En el taller *in-house* se logra discutir los resultados específicos y se identifican errores en que incurre el personal (Figura 4). Se puede apreciar una instalación que no estaba diseñada en forma adecuada para la ubicación

de los equipos de radiodiagnóstico y analizar los riesgos asociados a la utilización del mismo. Se analizan la carencia de procedimientos adecuados y que conlleva a utilizar en forma indebida los materiales y accesorios de radioprotección. En la figura 4 también se puede visualizar la forma indebida de colgar los mandiles plomados.



**Figura 4.** Espacios reducidos y procedimientos inadecuados.

### 3. Resultados

Los cursos regionales han permitido una buena participación de personal de las diferentes provincias y distritos.

El curso de formación permite identificar debilidades técnicas existentes en muchas instalaciones del interior del país. Sin embargo, el personal que participa en los cursos logran tomar conciencia de la importancia de mejorar las condiciones de seguridad en donde todos son parte de ese objetivo común, identificando desde luego la responsabilidad asociada en concordancia con las disposiciones y normativas vigentes de nuestro país [2].

Se ha logrado concientizar en la focalización de los aspectos relevantes que hacen que las dosis se reduzcan como es el caso del control de calidad de los equipos de rayos X, así como de las actividades complementarias que también incide en la buena calidad de la imagen radiográfica.

### 4. Conclusión

La puesta en práctica de una estrategia para desarrollar cursos regionales de capacitación en protección radiológica está permitiendo mejorar la cultura de seguridad en nuestro país.

Con la implementación de los cursos regionales se ha logrado incrementar en forma sustantiva el número de personas capacitadas que han obtenido su licencia de operadores.

### 5. Bibliografía

- [1] Organismo Internacional de Energía Atómica. Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación. Colección Seguridad No. 115. Viena: IAEA; 1997.
- [2] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de Protección Radiológica. Lima: IPEN; 1997.

## ANEXOS

<b>A. Publicaciones en revistas internacionales indexadas</b>	<b>239</b>
<b>B. Publicaciones en revistas nacionales</b>	<b>239</b>
<b>C. Otras publicaciones especializadas</b>	<b>239</b>
<b>D. Presentación y disertación de trabajos en congresos, seminarios, simposios, talleres y publicación en actas</b>	<b>239</b>
<b>D.1 Internacionales</b>	<b>239</b>
<b>D.2 Nacionales</b>	
<b>E. Tesis</b>	<b>240</b>
<b>F. Cursos y eventos organizados por el IPEN</b>	<b>240</b>
<b>F.1 Cursos regulares en el centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN)</b>	<b>240</b>
<b>F.2 Cursos y eventos desarrollados en forma descentralizada</b>	<b>245</b>
<b>G. Programa de entrenamiento, talleres, cursos y becas en el extranjero</b>	<b>248</b>
<b>H. Programa de entrenamiento y cursos organizados por el IPEN-OIEA en el Perú</b>	<b>255</b>
<b>I. Estancias y pasantías a investigadores extranjeros</b>	<b>258</b>
<b>J. Proyectos financiados por el Organismo Internacional de Energía Atómica a través del Acuerdo Regional para la Cooperación en América Latina (ARCAL)</b>	<b>258</b>
<b>J.1 Proyectos nacionales para el bienio 2009-2011</b>	<b>258</b>
<b>J.2 Proyectos regionales</b>	<b>259</b>
<b>J.3 Proyectos regionales ARCAL</b>	<b>259</b>
<b>K. Misiones de expertos</b>	<b>260</b>
<b>L. Proyectos de investigación concursados</b>	<b>261</b>

## A. Publicaciones en Revistas Internacionales Indexadas

Lobato I, Rojas J, Landauro CV, Torres J. **Atomic and electronic structure transformations of silver nanoparticles under rapid cooling conditions.** Journal of Physics: Condensed Matter. 2009; 21(5). doi: 10.1088/0953-8984/21/5/055301

Anzano J, Lasherasa RJ, Cunya E, Bonilla B, Beguería JM, Casas González J. **Analysis of pre-hispanic archaeological samples using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS).** Analytical Letters. 2009 Jan; 42(10):1509-17. doi: 10.1080/00032710902954466

Pinault JL, Solis JL. **The optimization of gamma spectra processing in Prompt Gamma Neutron Activation Analysis (PGNAA).** Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B. 2009; 267(7):1139-1148.

Ponce S, Carpio E, Venero J, Estrada W, Rodríguez J, Reche C, Candal RJ. **Titanium dioxide onto polyethylene for water decontamination.** Journal of Advanced Oxidation Technologies. 2009 Jan; 12(1):81-86.

Soto A, Agapito J, Acuña-Villaorduña C, Solari L, Samalvides F, Gotuzzo E. **Evaluation of the performance of two liquid-phase culture media for the diagnosis of pulmonary tuberculosis in a national hospital in Lima, Peru.** International Journal of Infectious Diseases. 2009 Jan; 13(1):40-45. doi:10.1016/j.ijid.2008.03.023

## B. Publicaciones en Revistas Nacionales

Picasso G, Sun Kou R, Gómez G, Hermoza E, López A, Pina MP, Herguido J. **Catalizadores nanoestructurados basados en óxidos de Fe para la combustión de n-hexano.** Revista de la Sociedad Química del Perú. 2009 Abr-Jun; 75(2):163-176.

Bedregal P, Mendoza P, Torres B, Ubillús M. **Confabilidad analítica en matrices arqueológicas mediante la participación en ensayos de aptitud.** Revista de la Sociedad Química del Perú. 2009 Jul-Set; 75(3):339-344.

Montoya E, Glowacki M, Zapata J, Mendoza P. **Caracterización de cerámicos Wari mediante análisis por activación neutrónica.** Revista de la Sociedad Química del Perú. 2009 Oct-Dic; 75(4):473-478.

Bedregal P, Mendoza P, Ubillus M, Torres B, Hurtado J, Maza I, Espinoza R. **El uso de *Usnea sp.* y *Tillandsia capillaris*, como biomonitores de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima, Perú.** Revista de la Sociedad Química del Perú. 2009 Oct-Dic; 75(4):479-487.

Comina G, Venero J, Alarcón H, Solís J. **Desarrollo de un sistema portátil de análisis de calidad de agua.** Revista de Investigación de Física. 2009; 12(1):13-19.

Rojas J, Montoya M. **The most compact scission configuration of fragments from low energy fission of  $^{234}\text{U}$  and  $^{236}\text{U}$ .** Revista de Investigación de Física. 2009; 12(1):25-28.

Copa B, Rojas J. **Simulación mediante dinámica molecular de los cambios estructurales durante la**

**colisión de nanopartículas de cobre.** Revista de Investigación de Física. 2009; 12(1):37-42.

Carrión J, León K, Santiago J. **Actividad antioxidante de tres ecotipos de maca (*Lepidium meyenii-walp*) tratada con radiación gamma.** Revista Peruana de Química e Ingeniería Química. 2009; 12(2):72-77.

Chui H, Miramira B, Olivera P, Jacay J. **Determinación de metales pesados en sedimentos del río Chillón mediante la técnica de fluorescencia de rayos X.** Revista Peruana de Química e Ingeniería Química. 2009; 12(2):9-14.

## C. Otras Publicaciones Especializadas

Walter Estrada, José Solís, Juan Rodríguez. **Recubrimientos delgados obtenidos por procedimientos físico-químicos.** Ed. Universitaria, Lima, Perú, 2009. (ISBN: 978-612-45413-5-3).

Ruiz-Moreno R, Martínez AI, López A, Barrañón A. **Study of superparamagnetic nanocomposites of high density polyethylene and maghemite.** Advanced Applications of Electrical Engineering, (2009) 219-221. Proceedings of the 8th International Conference on Applications of Electrical Engineering (AEE '09). Proceedings of the 8th International Conference on Applied Electromagnetics, Wireless and Optical Communications (ELECTRO '09). Houston, USA, April 30-May 2, 2009.

Mario Mallaupoma, Edgard Medina. **Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares.** Serie Publicaciones CSEN, Lima, Perú 2009. (ISSN 1814-6295).

Antonio Prado, Julio Santiago, Justo Rojas, Bertha Ramos, Mariano Vela, Emma Castro, (Eds.). **Informe Científico Tecnológico 2008.** Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima: Perú, 2009. (ISSN 1684-1662).

## D. Presentación y Disertación de Trabajos en Congresos, Seminarios, Simposios, Talleres y Publicación en Actas

### D.1 Internacionales

Rosanna Morales, Josseline Honorio, Cecilia López, Luis Araujo, Roque Cano, Patricia Saavedra. **Hallazgos en Gammagrafías óseas en pacientes con Leucemia.** Abstracts. XXII Congreso de Alasbimn. Cartagena de Indias, Colombia, 5-7 noviembre 2009. Alasbimn Journal. 2009 Oct;12(46):Article N° AJ45-5.

Rosanna Morales, Roque Cano, Patricia Saavedra, *et al.* **Knowing people, caring for persons, not just treating pain: 15 years delivering radionuclides to palliate bone pain.** Third International Conference on Radiopharmaceutical Therapy 2009, Cartagena de Indias, Colombia. World Journal of Nuclear Medicine. 2009 Oct; 8(4).

### D.2 Nacionales

C. Zanabria, L. Abad, L.R. Gilvonio, y J.L. Solis. **Método rápido para la determinación del índice de actividad de materiales puzolanicos.** XII Simposium de la Tecnología en la Industria del Cemento. Lima, Perú, 24 noviembre 2009.

Miguel Delgado, José Solís. II Escuela Andina de Espectroscopia (SPECTRA 2009), Taller de Difracción de Rayos X. Lima, Perú, 2-6 marzo 2009.

## E. Tesis

Alex Manuel Jiménez Romero

**Películas delgadas de Zn-Sn-O fabricadas por rociado pirolítico asistido con radiación gamma y su aplicación como sensor de gas natural.** Tesis M.Sc. en Ciencias con mención en Energía Nuclear. Universidad Nacional de Ingeniería. Sección de Posgrado y Segunda Especialización Profesional. 2009, Lima, Perú.

Julio Enrique Alarcón Alvarado

**Nanohilos de óxido de zinc fabricados a partir de soluciones precursoras de acetato de zinc irradiadas con rayos gamma.** Tesis M.Sc. en Ciencias con mención en Energía Nuclear. Universidad Nacional de Ingeniería. Sección de Posgrado y Segunda Especialización Profesional. 2009, Lima, Perú.

Juan Abraham Mendez Velásquez

**Implementación clínica de dosimetría de electrones de campos irregulares usando cámara de ionización, integración por sectores y método de Monte Carlo.** Tesis M.Sc. en Ciencias con mención en Energía Nuclear. Universidad Nacional de Ingeniería. Sección de Posgrado y Segunda Especialización Profesional. 2009, Lima, Perú.

## F. Cursos y eventos organizados por el IPEN

### F.1 Cursos regulares en el Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN)

#### Protección radiológica en radiología dental

Fecha : 3-4.01.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

#### Protección radiológica en radiología dental

Fecha : 12-16.01.2009

Docente : G. Maghella

#### Curso básico de física nuclear para docentes

Fecha : 12-16.01.2009

Docentes: R. Arrieta, R. Ruiz

#### Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha : 12 -17.01.2009

Docente : L. Defilippi, R. Visurraga

#### Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha : 17.01.2009

Docente : L. Defilippi

#### Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas

Fecha : 17.01.2009

Docente : J. Condori

#### Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (densímetros)

Fecha : 19-22.01.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

#### Curso básico de radioquímica para docentes

Fecha : 19-23.01.2009

Docentes: M. Munive, P. Olivera, J. Ávila, E.

Veramendi

#### Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha : 24.01.2009

Docente : G. Maghella

#### Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha : 24.01.2009

Docente : R. Visurraga

#### Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos x no médicos (fluorescencia y difracción de rayos x)

Fecha : 24.01.2009

Docente : M. Munive

#### Seguridad radiológica en el uso de rayos x (No médico)

Fecha : 26-28.01.2009

Docente : J. Condori

#### Seguridad radiológica en medicina nuclear

Fecha : 26-29.01.2009

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

#### Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha : 2-7.02.2009

Docente : J. Condori, R. Visurraga, E. Medina F.

#### Actualización sobre protección radiológica en radiología dental

Fecha : 7.02.2009

Docente : G. Maghella

#### Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha : 7.02.2009

Docente : L. Defilippi

#### Protección radiológica en radiología dental

Fecha : 7-8.02.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

#### Protección física de instalaciones radiactivas relevantes

Fecha : 27.01,10.02.2009

Lugar : Instituto Nacional de Enfermedades

Neoplásicas (INEN), SENSORMATIC

Docentes: G. Lázaro, E. Medina F.

#### Protección radiológica en radiología dental

Fecha : 7,14.02.2009

Docente : G. Maghella

#### Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha : 9-14.02.2009

Docentes: L. Defilippi, G. Maghella

#### Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha : 14.02.2009

Docente : R. Visurraga

#### Curso básico de radiobiología para docentes

Fecha : 16-20.02.2009

Docentes: J. Osores, E. Medina F., E. Veramendi

#### Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia

Fecha : 21.02.2009

Docente : B. García

#### Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha : 21.02.2009

Docente : G. Maghella

**Seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas**

Fecha : 17-23.02.210

Docente : L. Defilippi

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 23-26.02.2009

Docentes: M. Munive, G. Maghella

**Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos x no médico**

Fecha : 2-4.02.2009

Docentes: M. Munive, E. Medina F.

**Curso básico de ensayos no destructivos**

Fecha : 2-6.03.2009

Docente : R. Visurraga

**Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 7.03.2009

Docente : L. Defilippi

**Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 7.03.2009

Docente : G. Maghella

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 7-8.03.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

**Seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas**

Fecha : 9-11.03.2009

Docente: G. Lázaro

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 7,14.03.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 9-14.03.2009

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

**Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 14.03.2009

Docente : L. Defilippi

**Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 19.03.2009

Docente : L. Defilippi

**Seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 16-20.03.2009

Docentes: L. Defilippi, E. Medina F.

**Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 23-27.03.2009

Docentes: G. Lázaro, E. Medina F.

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 28.03.2009

Docente : G. Maghella

**Curso de inspección de soldadura módulo 1: Metalurgia de la soldadura**

Fecha : 22-30.03.2009

Docente : V. Falconí

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 30.03 - 2.04.2009

Docentes: M. Munive, E. Medina F.

**Curso de física de radiodiagnóstico**

Fecha : 23.03 - 3.04.2009

Docente : M. Rodríguez

**Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia**

Fecha : 4.04.2009

Docente : M. Velásquez

**Curso de análisis por fluorescencia de rayos x**

Fecha : 13-17.04.2009

Docente : P. Olivera

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 13-18.04.2009

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

**Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 18.04.2009

Docente : J. Condori

**Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 18.04.2009

Docente : G. Maghella

**Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia**

Fecha : 18.04.2009

Docente : B. García

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 18-19.04.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

**Curso de líquidos penetrantes Nivel II**

Fecha : 13-20.04.2009

Docentes: H. Villacorta, R. Visurraga

**Seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas**

Fecha : 20-23.04.2009

Docente : J. Condori

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 18,25.04.2020

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

**Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 25.04.2009

Docente : G. Lázaro

**Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 25.04.2009

Docente : L. Defilippi

**Seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 21,24,28.04.2009

Docentes: M. Velásquez, E. Medina F.

**Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 28.04.2009

Docente : R. Visurraga

**Seguridad radiológica en el uso de rayos x (No médicos)**

Fecha : 27-29.04.2009

Docentes: G. Lázaro, E. Medina F.

**Curso de física de radioterapia**

Fecha : 13-30.04.2009

Docente : V. Bourel

**Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos x (No médicos)**

Fecha : 4-5.05.2009

Docente : J. Condori

**Curso de partículas magnéticas nivel II**

Fecha : 4-8.05.2009

Docentes: H. Villacorta, R. Visurraga

**Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 9.05.2009

Docente : M. Ticllacuri

**Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 9.05.2009

Docente : G. Maghella

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 9.05.2009

Docente : G. Maghella

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 9,16.05.2009

Docente : G. Maghella

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 11-16.05.2009

Docente : L. Defilippi

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 16.05.2009

Docente : M. Ticllacuri

**Seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas**

Fecha : 18-20.05.2009

Docente : J. Condori

**Curso de inspección de soldadura módulo 3: Defectología, ensayos no destructivos**

Fecha : 25-29.05.2009

Docente : R. Visurraga

**Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 25-30.05.2009

Docentes: M. Ticllacuri, R. Visurraga

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (densímetros)**

Fecha : 1-3.06.2009

Docentes: G. Maghella, E. Medina F.

**Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 6.06.2009

Docente : J. Condori

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 6-7.06.2009

Docentes: M. Ticllacuri, R. Visurraga

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 6,13.06.2009

Docentes: M. Ticllacuri, R. Visurraga

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 8-13.06.2009

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

**Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 13.06.2009

Docente : L. Defilippi

**Curso de radiografía industrial (Nivel I)**

Fecha : 1-15.06.2009

Docentes: H. Villacorta, R. Visurraga

**Seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas**

Fecha : 15-18.06.2009

Docentes: L. Defilippi, J. Condori

**Seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 15,17,18,20.06.2009

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

**Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia**

Fecha : 20.06.2009

Docente : B. García

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 20.06.2009

Docente : M. Ticllacuri

**Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos x (No médico)**

Fecha: 22 - 24 jun

Docentes: j. condori, e. medina

**Curso básico de MCNP5 aplicado a reactores**

Fecha: 15,17,19,22,24,26.06.2009

Lugar: CN-RACSO

Docente: A. Gallardo

**Inspección de soldadura módulo 4: Ensayos destructivos, calificación de soldadores**

Fecha : 22-26.06.2009

Docentes: V. Falconí, R. Visurraga

**Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 22-27.06.2009

Docentes: M. Ticllacuri, R. Visurraga

**Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 27.06.2009

Docente : M. Ticllacuri

**Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 4.07.2009

Docente : L. Defilippi

**Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 4.07.2009

Docente : G. Maghella

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 4-5.07.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 4,11.07.2009

Docente : G. Maghella

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 6-11.07.2009

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

**Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 11.07.2009

Docente: M. Ticllacuri

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Perfilaje de pozos petroleros)**

Fecha : 13-16.07.2009

Docentes: J. Condori, E. Medina F.

**Curso de radiografía industrial (Nivel II)**

Fecha : 6-17.07.2009

Docente : F. Calderón

**Seguridad radiológica en radioterapia**

Fecha : 6-18.07.2009

Docentes: B. García, R. Visurraga

**Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 18.07.2009

Docente : M. Tiellacuri

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 18.07.2009

Docente : G. Maghella

**Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos x (No médico)**

Fecha : 20-22.07.2009

Docente : J. Condori

**Inspección de soldadura módulo 5: Código, normas, especificaciones, inspección uniones soldadas, estudio de casos**

Fecha : 20-24.07.2009

Docente : F. Calderón

**Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 1.08.2009

Docente : L. Defilippi

**Transporte seguro de materiales radiactivos**

Fecha : 1-08.2009

Docentes: E. Medina F., M. Mallaupoma

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 4-5.08.2009

Docente : G. Maghella

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 3-6.08.2009

Docentes: M. Tiellacuri, E. Medina F.

**Seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 3-8.08.2009

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

**Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 8.08.2009

Docentes: M. Tiellacuri

**Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 8.08.2009

Docente : G. Maghella

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 8-9-08.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 8,15.08.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 10-15.08.2009

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

**Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 15.08.2009

Docente : M. Tiellacuri

**Curso de ultrasonido (Nivel I)**

Fecha : 4-19.08.2009

Docente : F. Calderón

**Seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas**

Fecha : 17-21.08.2009

Docente : J. Condori

**Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia**

Fecha : 22.08.2009

Docente : B. García

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 22.08.2009

Docente : G. Maghella

**Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 26.08.2009

Docente : R. Visurraga

**Curso de interpretación de radiografías**

Fecha : 24-28.08.2009

Docente : R. Visurraga

**Curso para oficiales de protección radiológica en radiografía industrial**

Fecha : 24-29.08.2009

Docentes: M. Tiellacuri, R. Visurraga

**Curso ultrasonido nivel I**

Fecha : 17-31.08.2009

Docente : F. Calderón

**Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 5.09.2009

Docente : G. Maghella

**Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 5.09.2009

Docente : L. Defilippi

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 5-6.09.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 12.09.2009

Docentes: G. Maghella, L. Defilippi

**Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 7-12.09.2009

Docentes: G. Lázaro, E. Medina F.

**Curso de ultrasonido nivel II**

Fecha : 7-18.09.2009

Docente : F. Calderón

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 14-19.09.2009

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

**Seguridad radiológica en uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 21-24.09.2009

Docente : E. Medina F.

**Curso para oficiales de protección radiológica en radiografía industrial**

Fecha : 21-27.09.2009

Docentes: G. Lázaro, R. Visurraga, E. Medina F.

**Actualización sobre seguridad radiológica en uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 26.09.2009

Docente : G. Lázaro

**Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha: 10.10.2009

Docente: I. Defilippi

**Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia**

Fecha : 10.10.2009

Docente : B. García

**Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 10.10.2009

Docente : G. Maghella

**Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 10.10.2009

Docente : G. Lázaro

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 10-11.10.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

**Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos x (No médico)**

Fecha : 12-14.10.2009

Docente : G. Lázaro

**Curso de inspección de soldadura**

Fecha : 14, 29,30.09 - 1,5, 6,16.10.2009

Docentes: F. Calderón, R. Visurraga

**Curso de inspección visual**

Fecha : 12-16.10.2009

Docentes: F. Calderón, R. Visurraga

**Capacitación sobre protección física y gestión de la seguridad de fuentes radiactivas**

Fecha : 14-16.10.2009

Lugar : CSEN, BATELLE

Docentes: F. Morris, M. Duncan, E. Ryan

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 10,17.10.2009

Docente : G. Maghella, R. Visurraga

**Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 17.10.2009

Docente : M. Tiellacuri

**Actualización sobre seguridad radiológica en medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 17.10.2009

Docente : G. Maghella

**Seguridad radiológica en radioterapia**

Fecha : 12-23.10.2009

Docente : B. García

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 19-24.10.2009

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

**Curso de metalurgia, tratamientos térmicos, tecnología de materiales para no metalurgistas**

Fecha : 26-30.10 - 2.11.2009

Docente: F. Calderón

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas selladas o abiertas para investigación y enseñanza**

Fecha : 3.11.2009

Docentes: E. Medina Flores, R. Visurraga

**Curso de evaluación de fallas en soldadura utilizando mecánica de fractura**

Fecha : 21,22,29.10 - 3,5.11.2009

Docentes: V. Falconí, R. Visurraga

**Seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 2-6.11.2009

Docentes: E. Medina F., L. Defilippi, R. Visurraga

**Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 7.11.2009

Docente : G. Maghella

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 7-8.11.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 9-12.11.2009

Docentes: G. Lázaro, E. Medina F.

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 7,14.11.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

**Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 14.11.2009

Docente : G. Lázaro

**Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 14.11.2009

Docente : M. Tiellacuri

**Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 16-21.11.2009

Docentes: M. Mallaupoma, R. Visurraga, E. Medina F.

**Curso para oficiales de protección radiológica en radiografía industrial**

Fecha : 16-21.11.2009

Docentes: M. Tiellacuri, R. Visurraga, M. Munive

**Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 21.11.2009

Docente : M. Tiellacuri

**Curso taller de capacitación jugando con neutrones en el reactor nuclear RP-0**

Fecha : 23-26.11.2009

Docente : A. Zuñiga

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 23-28.11.2009

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

**Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos x no médico (Mantenimiento de equipos de rayos x de control de bultos o equipajes)**

Fecha : 30.11-2.12.2009

Docentes: G. Lázaro, E. Medina F.

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 1-4.12.2009

Docentes: G. Maghella, E. Medina F.

**Jornada de ensayos no destructivos**

Fecha : 4-5.12.2009

Dirigido : Empresas de Ensayos No Destructivos

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 5-6.12.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 5,12.12.2009

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 12.12.2009

Docente : A. Aguirre

**Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 12.12.2009

Docente : M. Tiellacuri

**F.2 Cursos y eventos desarrollados en forma descentralizada****Inspección de soldadura modulo 1: Metalurgia de la soldadura**

Fecha : 12-14.01.2009

Lugar : Empresa de Generación Eléctrica

Machupicchu SA, Cusco

Docente : R. Visurraga

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (P.P.P.)**

Fecha : 23-24.01.2009

Lugar : Geowell Saicyf Sucursal Peruana, Talara

Docente : J. Condori

**Curso de energía nuclear para periodistas**

Fecha: 30.01.2009

Lugar : CN-Racso

Docentes: M. Munive, J. Ávila, M. Vela, A. Urcia,

F. Ramos, J. Valencia, G. Rodríguez

**Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 31.01.2009

Lugar : Southern Peru Copper (SPCC) - Hospital Ilo

Docente : J. Condori

**Curso de detección y monitoreo de radiaciones**

Fecha : 3-4.02.2009

Lugar : Minera Yanacocha, Cajamarca

Docente : E. Medina F., M. Mallaupoma

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 7.02.2009

Lugar : Sociedad Minera Cerro Verde, Arequipa

Docente : M. Mallaupoma

**Curso de fuentes de difracción de rayos x**

Fecha : 11-13.02.2009

Lugar : Cementos Lima, Atocongo

Docente : J. Solís

**Protección física de instalaciones radiactivas relevantes**

Fecha : 16.01, 7,14.02.2009

Lugar : Hospital Rebagliati - Sensomatic del Perú S.A.

Docente : E. Medina F.

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Perfilaje de pozos petroleros)**

Fecha : 16.02.2009

Lugar : Weatherford del Perú SRL

Docentes: M. Munive, E. Medina F.

**Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia**

Fecha : 21.02.2009

Lugar : Instituto Nacional de Enfermedades

Neoplásicas (INEN)

Docente: B. García

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 26.02.2009

Lugar : Sociedad Minera Cerro Verde, Arequipa

Docente : E. Medina F.

**Métodos avanzados de difracción de rayos x**

Fecha : 25-27.02.2009

Lugar : Cementos Lima, Atocongo

Docente : J. Solís

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 28.02.2009

Lugar : Sociedad Minera Cerro Verde, Arequipa

Docente : J. Condori

**Seguridad radiológica en radioterapia**

Fecha : 14,21,25,26,27,28.02 -7.03.2009

Lugar : Instituto Nacional de Enfermedades

Neoplásicas (INEN)

Docentes: B. García, R. Visurraga

**Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 7-8.03.2009

Lugar : CBI Peruana SAC., Pampa Melchorita,

Cañete

Docente : J. Condori

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 7-8.03.2009

Lugar : Hospital La Caleta de Chimbote, Chimbote

Docente : M. Mallaupoma

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 14.03.2009

Lugar : Consorcio constructor Tramo 4, San Gabán, Puno

Docente : J. Condori

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 17.03.2009

Lugar : Sociedad Minera Cerro Verde, Arequipa

Docente : E. Medina F.

**Actualización en seguridad radiológica en el uso de fuentes de radiación**

Fecha : 18.03.2009

Lugar : CN-Racso

Docente : J. Condori

**Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 18.03.2009

Lugar : CBI Peruana SAC., Pampa Melchorita,

Cañete

Docente : G. Lázaro

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 19.03.2009

Lugar : Sociedad Minera Cerro Verde, Arequipa

Docente : E. Medina F.

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 24.03.2009  
Lugar : Sociedad Minera Cerro Verde, Arequipa  
Docente : M. Mallaupoma

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 25.03.2009  
Lugar : Kimberly Clark Perú, Puente Piedra  
Docente : E. Medina F.

**Curso de partículas magnéticas nivel II**

Fecha : 25-26.03.2009  
Lugar : Servicios Industriales de la Marina (SIMA), Chimbote  
Docente : R. Visurraga

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 20,27.03.2009  
Lugar : Clínica Good Hope  
Docente : G. Maghella

**Curso de inspección visual nivel II**

Fecha : 27-28.03.2009  
Lugar : Servicios Industriales de la Marina (SIMA), Chimbote  
Docente : R. Visurraga

**Seguridad radiológica en el uso de rayos x no médicos (Control de objetos, bultos y equipajes)**

Fecha : 1.04.2009  
Lugar : Embajada de Estados Unidos  
Docente : M. Munive

**Curso básico de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 1.04.2009  
Lugar : Kimberly Clark Perú, Puente Piedra  
Docente : E. Medina F.

**Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 4.04.2009  
Lugar : Hospital de Puente de Piedra  
Docente : L. Defilippi

**Actualización de seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 6.04.2009  
Lugar : Biotecnica  
Docente : L. Defilippi

**Curso básico de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 8.04.2009  
Lugar : Kimberly Clark Perú, Puente Piedra  
Docente : E. Medina F.

**Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos x no médicos (Fluorescencia de rayos x)**

Fecha : 13.04.2009  
Lugar : Anglo Americana Exploration  
Docente : M. Mallaupoma

**Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 18.04.2009  
Lugar : Hospital Alberto Sabogal, Callao  
Docente : L. Defilippi

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 18-19.04.2009  
Lugar : Hospital Alberto Sabogal, Callao  
Docente : L. Defilippi

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 18-19.04.2009  
Lugar : Hospital Regional Honorio Delgado, Arequipa  
Docente : M. Mallaupoma

**Protección y seguridad radiológica de los pacientes en radioterapia**

Fecha : 18,25.04.2009  
Lugar : Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN)  
Docente : B. García

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 27.04.2009  
Lugar : Cementos Yura, Arequipa  
Docente : J. Condori

**Inspección de soldadura. Módulo 2: Procesos de soldadura y simbolización**

Fecha : 20,22,23,27,29.04.2009  
Docente : A. Acosta

**Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 13.05.2009  
Lugar : Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu SA, Cusco  
Docente : R. Visurraga

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 9,16.05.2009  
Lugar : Instituto Nacional del Corazón (INCOR)  
Docente : L. Defilippi

**Protección física en instalaciones radiactivas relevantes**

Fecha : 16.05.2009  
Lugar : Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN)  
Docente : E. Medina F.

**Protección radiológica en densitometría ósea**

Fecha : 16.05.2009  
Lugar : Asociación Peruano Japonesa, Lima  
Docente : M. Mallaupoma

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 17.05.2009  
Lugar : Centro Médico Odontológico Americano  
Docente : G. Maghella

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico (Mantenimiento)**

Fecha : 9,21,23.05.2009  
Lugar : Futura Médica Odontológica  
Docentes: G. Maghella, J. Condori

**Actualización sobre seguridad radiológica para personal de operación y mantenimiento de la PPR**

Fecha : 27-28.05.2009  
Lugar : CN-Racso  
Docentes: J. Osores, J. Condori, A. Corahua

**Seguridad radiológica para personal de operación y mantenimiento de la PPR**

Fecha : 27-29.05.2009  
Lugar : CN-Racso  
Docentes: J. Osores, J. Condori, A. Corahua

**Actualización de seguridad radiológica en el uso de fuentes abiertas en investigación agrícola**

Fecha : 29.05.2009  
Lugar : Centro Internacional de la Papa  
Docente : M. Mallaupoma

**Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos x no médico (Control de bulto o equipajes)**

Fecha : 6.06.2009

Lugar : Swissport GBH Perú S.A.

Docente : M. Mallaupoma

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 7.06.2009

Lugar : Cia. Minera Antamina

Docente : G. Maghella

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 20.06.2009

Lugar : Odebrecht Perú

Docente : J. Condori

**Videoconferencia: Tendencias tecnológicas y aplicaciones de sistemas fotovoltaicos (Desde Olade, Quito-Ecuador)**

Fecha : 22.24.06.2009

Lugar : CN-Racso

Docente : R. Zilles

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 27.06.2009

Lugar : Constructora Queiroz Galvao Sucursal Perú

Docente : J. Condori

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 28-29.06.2009

Lugar : Cia. Minera Antamina

Docente : A. Aguirre

**Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos x no médicos (Fluorescencia de rayos x)**

Fecha : 4.07.2009

Lugar : Milpo Unidad Minera El Porvenir, Cerro de Pasco

Docente : J. Condori

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 5.07.2009

Lugar : Centro Odontológico Americano, Arequipa

Docente : M. Mallaupoma

**Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**

Fecha : 8.07.2009

Lugar : Repsol Perú

Docente : R. Visurraga

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Perfilaje de pozos petroleros)**

Fecha : 10-11.07.2009

Lugar : Geowell Saicyf Sucursal Peruana, Talara

Docente : J. Condori

**Curso básico de ensayos no destructivos**

Fecha : 13-15.07.2009

Lugar : Cámara Boliviana de Hidrocarburos, Santa Cruz - Bolivia

Docente : R. Visurraga

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 18.07.2009

Lugar : Cerdent Perú

Docente : G. Maghella

**Curso de inspección de soldadura módulo 3: Defectología, ensayos no destructivos**

Fecha : 21-22.07.2009

Lugar : Empresa de Generación Eléctrica

Machupicchu SA, Cusco

Docente : R. Visurraga

**Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos x no médicos (Fluorescencia de rayos x)**

Fecha : 24.07.2009

Lugar : Cia. Milpo Cerro Lindo, Chincha

Docente : J. Condori

**Inspección de soldadura módulo 2: Procesos de soldadura y simbolización**

Fecha : 23-24.07.2009

Lugar : Empresa de Generación Eléctrica

Machupicchu SA, Cusco

Docente : R. Visurraga

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 25.07.2009

Lugar : Cia. Milpo Cerro Lindo, Chincha

Docente : J. Condori

**Protección y seguridad radiológica de los pacientes en radioterapia**

Fecha : 25-26.07.2009

Lugar : Radioncoterapia, Huancayo

Docente : B. García

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 4-5-08.2009

Lugar : Xstrata Tintaya S.A., Arequipa

Docente : G. Maghella

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 22-23.08.2009

Lugar : Instituto de Salud del Niño

Docente : M. Mallaupoma

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 22-23.08.2009

Lugar : Clínica Centenario Peruano Japonesa

Docente : J. Condori

**Protección radiológica y control de calidad de rayos x convencional y dental**

Fecha : 24-28.08.2009

Lugar : X-Ray Service S.A.

Docente : L. Defilippi

**Seguridad física de instalaciones nucleares**

Fecha : 1-3.09.2009

Lugar : CN-Racso

Docentes: E. Medina F., A. Zapata, G. Jones,

E. Cifuentes, M. Mallaupoma, M. Strosinski

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 5.09.2009

Lugar : Grupo Odontológico de Trujillo, Trujillo

Docente : M. Mallaupoma

**Seguridad radiológica en uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 12.09.2009

Lugar : Consorcio Constructor Tramo 4, San Gabán, Puno

Docentes: G. Maghella

**Actualización en protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 12.09.2009

Lugar : Red Asistencial Ica – Essalud, Ica

Docente : M. Mallaupoma

**Actualización en protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 16.09.2009  
Lugar : Hospital Rezola de Cañete, Cañete  
Docente : G. Maghella

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 19.09.2009  
Lugar : Empresa Siderúrgica del Perú S.A.A., Chimbote  
Docente: G. Lázaro

**Seguridad radiológica en uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 19.09.2009  
Lugar : Votorantim Metais, Cajamarquilla  
Docente : A. Aguirre

**Seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 18,21.09.2009  
Lugar : PET CT Perú S.A.  
Docentes: M. Velásquez, R. Visurraga

**Seguridad radiológica en uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 26.09.2009  
Lugar : Votorantim Metais, Cajamarquilla  
Docente : G. Maghella

**Seguridad radiológica en medicina nuclear**

Fecha : 28.09 -3.10.2009  
Lugar : EE Medicina Nuclear S.R.L.  
Docente : L. Defilippi

**Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos x no médicos (Control de objetos y/o personas)**

Fecha : 3.10.2009  
Lugar : Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (Sunat), Intendencia de Tacna  
Docente : M. Mallaupoma

**Protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 4.10.2009  
Lugar: Grupo Odontológico, Trujillo  
Docente: g. Maghella

**Seguridad radiológica en medidores nucleares (Perfilaje de pozos petroleros)**

Fecha : 10.10.2009  
Lugar : Schlumberger del Perú S.A., Talara  
Docente : M. Ticllacuri

**Seminario: Importancia de seguridad física de las instalaciones radiactivas relevantes en el Perú**

Fecha : 13.10.2009  
Lugar : CSEN, BATELLE  
Docentes: F. Morris, M. Duncan, E. Ryan, M. Mallaupoma

**Seguridad radiológica en medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 16.10.2009  
Lugar : Pluspetrol Perú Corporation S.A.  
Docente : M. Ticllacuri

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 24,31.10.2009  
Lugar : Hospital Almenara (Essalud)  
Docente : L. Defilippi

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 5.11.2009  
Lugar : Sociedad Minera Cerro Verde, Arequipa

Docente : E. Medina F.

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 6.11.2009  
Lugar : Pluspetrol Perú Corporation S.A.  
Docente : M. Ticllacuri

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 7-8.11.2009  
Lugar : Clínica Santa Isabel, Lima  
Docente : L. Defilippi

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 14,21.11.2009  
Lugar : Hospital II Essalud Vitarte, Lima  
Docentes: M. Mallaupoma, L. Defilippi

**Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 21-22.11.2009  
Lugar : X Ray Service, Ica  
Docente : M. Mallaupoma

**Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos x no médico (Fluorescencia de rayos x)**

Fecha : 28.11.2009  
Lugar : Sermaninco S.R.L.  
Docente : M. Ticllacuri

**Actualización en protección radiológica en radiodiagnóstico médico**

Fecha : 5.12.2009  
Lugar : Hospital de Apoyo III Sullana, Sullana  
Docente : M. Ticllacuri

**Seguridad radiológica en el mantenimiento de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 10.12.2009  
Lugar : Southern Peru Cooper Corp., Ilo  
Docente : E. Medina F.

**Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**

Fecha : 11.12.2009  
Lugar : Southern Peru Cooper Corp., Ilo  
Docente : E. Medina F.

**Seguridad radiológica en medidores nucleares (Perfilaje de pozos petroleros)**

Fecha : 12.12.2009  
Lugar : Weatherford del Perú, Sede Talara  
Docente : M. Mallaupoma

**Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**

Fecha : 13.12.2009  
Lugar : Grupo Odontológico de Trujillo  
Docente : G. Maghella

**Seguridad radiológica en la producción de radioisótopos**

Fecha : 14-18,28-29.12.2009  
Lugar : Ciclotron Peru S.A.  
Docentes: L. Defilippi, M. Velásquez, C. Ampuero

**Curso de actualización sobre irradiadores**

Fecha : 30.12.2009-4.01  
Lugar : CN-Racso  
Docente : M. Mallaupoma

**G. Programas de entrenamiento, talleres, cursos y becas en el extranjero**

Mario Mallaupoma Gutiérrez (IPEN)

**Taller sobre manejo sostenible de fuentes selladas (DSRS) en desuso y posible eliminación**

Lugar : Bangkok, Tailandia  
 Período : 12-16.01.2009  
 Apoyo : OIEA

Juan Agapito Panta (IPEN)

**Taller internacional sobre los fundamentos de la calidad y seguridad en laboratorios**

Lugar : Cape Town, Sud África  
 Período : 19-21.01.2009  
 Apoyo : OIEA

Eduardo Montoya Rossi (IPEN)

**Proyecto coordinado de investigación sobre aplicación del análisis por activación neutrónica al análisis de muestras arqueológicas grandes. Primera reunión de coordinación**

Lugar : Viena, Austria  
 Período : 19-24.01.2009  
 Apoyo : OIEA

Galy Juana Mendoza (Universidad Peruana Cayetano Heredia-UPCH)

**Manejo de programas de cómputo que permitan efectuar mediciones digitales de longitudes y diámetros vasculares obtenidos en muestras de úteros y placentas de camélidos sudamericanos**

Lugar : La Plata, Argentina  
 Período : 02.02-02.03.2009  
 Apoyo : OIEA

Luz Gómez Pando (Universidad Nacional Agraria La Molina-UNALM)

**Primera reunión de coordinación del proyecto fortalecimiento de los cultivos a través de las mutaciones inducidas. RLA/5/056 (ARCAL CV)**

Lugar : La Habana, Cuba  
 Período : 16-20.02.2009  
 Apoyo : OIEA

Armando Hung Chaparro (Universidad Peruana Cayetano Heredia-UPCH)

**Visita científica para construir la Librería de ADN de alpacas para concluir la identificación celular de las mismas**

Lugar : Kentucky, Estados Unidos  
 Período : 17-27.02.2009  
 Apoyo : OIEA

Mario Mallaupoma Gutiérrez (IPEN)

**Conferencia internacional sobre control y gestión de materiales radiactivos accidentalmente presentes en la chatarra**

Lugar : Terragona, España  
 Período : 23-27.02.2009  
 Apoyo : OIEA

Genaro Rodríguez Carbajal (IPEN)

**Coordinación regional sobre fortalecimiento de la gestión de residuos radiactivos (RMW) infraestructura en América Latina y el Caribe**

Lugar : La Habana, Cuba  
 Período : 02-04.03.2009  
 Apoyo : OIEA

Iván Llamas Montoya (IPEN)

**Primera reunión de coordinación del proyecto de cooperación técnica RLA/0/037**

Lugar : Bariloche, Argentina  
 Período : 02-06.03.2009  
 Apoyo : OIEA

Edgar Valdivia Zeballos (IPEN)

**Primera reunión de coordinación del proyecto regional RLA/4/022**

Lugar : México  
 Período : 02-06.03.2009  
 Apoyo : OIEA

Rosanna Morales Guzmán-Barrón (IPEN)

**Primera reunión de coordinación del proyecto RLA/6/055**

Lugar : La Habana, Cuba  
 Período : 02-06.03.2009  
 Apoyo : OIEA

Juan Ávila López (IPEN)

**Curso manejo del paquete Message RLA/0/040**

Lugar : Managua, Nicaragua  
 Período : 02-13.03.2009  
 Apoyo : OIEA

Lidia Conza Blanco (Servicio Nacional de Sanidad Agraria-Senasa)

**Curso regional de capacitación sobre epidemiología molecular y transmisión de fasciolosis**

Lugar : Montevideo, Uruguay  
 Período : 09-13.03.2009  
 Apoyo : OIEA

Amanda Chávez Velásquez (Universidad Nacional Mayor de San Marcos-UNMSM)

**Curso regional de capacitación sobre epidemiología molecular y transmisión de fasciolosis**

Lugar : Montevideo, Uruguay  
 Período : 09-13.03.2009  
 Apoyo : OIEA

José Babilón (Universidad Peruana Cayetano Heredia-UPCH)

**Curso regional de capacitación sobre epidemiología molecular y transmisión de fasciolosis**

Lugar : Montevideo, Uruguay  
 Período : 09-13.03.2009  
 Apoyo : OIEA

Emma Castro Gamero (IPEN)

**Primera reunión de coordinación del proyecto de cooperación técnica**

Lugar : Sao Paulo, Brasil  
 Período : 09-13.03.2009  
 Apoyo : OIEA

Regulo Visurraga Sosa (IPEN)

**Primera reunión de coordinación del proyecto ARCAL RLA/8/044 (CXVII)**

Lugar : Buenos Aires, Argentina  
 Período : 16-20.03.2009  
 Apoyo : OIEA

Yuri Ravello Ratzemberg (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre prevención de exposiciones accidentales en radioterapia y metodologías de análisis de riesgos**

Lugar : Santiago de Chile, Chile  
 Período : 19-20.03.2009  
 Apoyo : OIEA

Adela Heredia Zelaya (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN))

**Curso regional de capacitación sobre prevención de exposiciones accidentales en radioterapia y metodologías de análisis de riesgos**

Lugar : Santiago de Chile, Chile  
 Período : 19-20.03.2009  
 Apoyo : OIEA

José Márquez Pachas (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN))

**Curso regional de capacitación sobre prevención de exposiciones accidentales en radioterapia y metodologías de análisis de riesgos**

Lugar : Santiago de Chile, Chile  
Período : 19-20.03.2009  
Apoyo : OIEA

Germán Cáceres Vivanco (IPEN)

**Curso regional de capacitación para reguladores sobre protección radiológica y seguridad en la práctica de irradiadores industriales y de investigación**

Lugar : Sao Paulo, Brasil  
Período : 23-27.03.2009  
Apoyo : OIEA

Conrado Seminario Arce (IPEN)

**Primera reunión de coordinación técnica RLA/0/038 Apoyo para la introducción de la energía nuclear**

Lugar : Montevideo, Uruguay  
Período : 23-27.03.2009  
OIEA

Renán Ramírez Quijada (IPEN)

**Simposio internacional sobre seguridad nuclear**

Lugar : Viena, Austria  
Período : 30.03-03.04.2009  
Apoyo : OIEA

Roxana Ventocilla Reaño (Servicio Nacional de Sanidad Agraria-SENASA)

**Primera Reunión de coordinación del proyecto RLA/5/053 Implementación de un sistema de diagnóstico para evaluar el impacto de la contaminación por pesticidas en alimentos y en compartimientos ambientales**

Lugar : Santiago de Chile, Chile  
Período : 31.03-04.04.2009  
Apoyo : OIEA

Edith López Moreno (IPEN)

**Curso regional de postgrado sobre protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación**

Lugar : Buenos Aires, Argentina  
Período : 30.03-18.09.2009  
Apoyo : OIEA

Bertha García Gutiérrez (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN))

**Curso regional de capacitación sobre aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia conformacional tridimensional**

Lugar : Sao Paulo, Brasil  
Período : 30.03-03.04.2009  
Apoyo : OIEA

Boris Mora Yengle (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN))

**Curso regional de capacitación sobre aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia conformacional tridimensional**

Lugar : Sao Paulo, Brasil  
Período : 30.03-03.04.2009  
Apoyo : OIEA

Eduardo Medina Gironzini (IPEN)

**Reunión regional sobre gerencia de conocimientos nucleares**

Lugar : Bariloche, Argentina 20-24.04.2009  
Apoyo : OIEA

Marco Antonio Linares (IPEN)

**Primera reunión de coordinación y planificación del proyecto ARCAL RLA/8/046**

Lugar : La Habana, Cuba  
Período : 20-24.04.2009  
Apoyo : OIEA

Carlos Ampuero Flores (IPEN)

**Reunión regional sobre regulación en materia de gestión de los desechos radiactivos. Comparación de las regulaciones nacionales con las guías de seguridad del OIEA**

Lugar : Santo Domingo, República Dominicana  
Período : 27.04-01.05.2009  
Apoyo : OIEA

Genaro Rodríguez Carbajal (IPEN)

**Reunión regional sobre regulación en materia de gestión de los desechos radiactivos. Comparación de las regulaciones nacionales con las guías de seguridad del OIEA**

Lugar : Santo Domingo, República Dominicana  
Período : 27.04-01.05.2009  
Apoyo : OIEA

César Vizcardo (IPEN)

**Reunión técnica sobre emergencias radionucleares**

Lugar : Buenos Aires, Argentina  
Período : 29-30.04.2009  
Apoyo : OPS

Rubén Rojas Molina (IPEN)

**Primera reunión del proyecto ARCAL RLA/5/051**

Lugar : San Luis, Argentina  
Período : 04-08.05.2009  
Apoyo : OIEA

Paula Olivera de Lescano (IPEN)

**Segunda reunión de coordinación del ARCAL RLA78/043**

Lugar : Buenos Aires, Argentina  
Período : 04-08.05.2009  
Apoyo : OIEA

Ana Paulini (Universidad de Piura)

**Curso regional avanzado de capacitación sobre el uso de técnicas isotópicas para manejo de cuencas de ríos incluyendo sus interacciones con acuíferos**

Lugar : Illinois, USA  
Período : 11-22.05.2009  
Apoyo : OIEA

Patricia Bedregal Salas (IPEN)

**Reunión final de coordinadores del proyecto mejora de la gestión de las masas de aguas que están contaminadas con metales**

Lugar : San José de Costa Rica, Costa Rica  
Período : 18-22/05/2009  
Apoyo : OIEA

Carlos Sebastian Calvo (IPEN)

**Visita científica al Instituto Coreano de Investigaciones Nucleares (KAERI)**

Lugar : Seúl, Corea del Sur  
Período : 01.06-05.06.2009

Eduardo Medina Gironzini (IPEN)

**XVII Congreso nacional de la sociedad española de física medica, XII Congreso nacional de la sociedad española de protección radiológica**

Lugar : Alicante, España  
Período : 02-05.06.2009  
Apoyo : OIEA

Carlos Gómez (Universidad Nacional Agraria La Molina-UNALM)

**Simposium internacional sobre mejoramiento sostenible de la producción y salud animal**

Lugar : Viena, Austria  
 Período : 08-11.06.2009  
 Apoyo : OIEA

Armando Hung Chaparro (Universidad Peruana Cayetano Heredia-UPCH)

**Simposium internacional sobre mejoramiento sostenible de la producción y salud animal**

Lugar : Viena, Austria  
 Período : 08-11.06.2009  
 Apoyo : OIEA

Luisa Echevarria Curie (Universidad Peruana Cayetano Heredia-UPCH)

**Simposium internacional sobre mejoramiento sostenible de la producción y salud animal**

Lugar : Viena, Austria  
 Período : 08-11.06.2009  
 Apoyo : OIEA

José Espinoza Babilón (Universidad Peruana Cayetano Heredia-UPCH)

**Simposium internacional sobre mejoramiento sostenible de la producción y salud animal**

Lugar : Viena, Austria  
 Período : 08-11.06.2009  
 Apoyo : OIEA

Nino Arias (Universidad Peruana Cayetano Heredia-UPCH)

**Simposium internacional sobre mejoramiento sostenible de la producción y salud animal**

Lugar : Viena, Austria  
 Período : 08-11.06.2009  
 Apoyo : OIEA

Wilfredo Huanca (Universidad Nacional Mayor de San Marcos-UNMSM)

**Simposium internacional sobre mejoramiento sostenible de la producción y salud animal**

Lugar : Viena, Austria  
 Período : 08-11.06.2009  
 Apoyo : OIEA

Aida Cordero (Universidad Nacional Agraria La Molina-UNALM)

**Simposium internacional sobre mejoramiento sostenible de la producción y salud animal**

Lugar : Viena, Austria  
 Período : 08-11.06.2009  
 Apoyo : OIEA

Carlos Barreda Tamayo (IPEN)

**Seminario sobre comunicación al público**

Lugar : Santiago de Chile, Chile  
 Período : 18-19.06.2009  
 Apoyo : OIEA

German Cáceres Vivanco (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre protección radiológica para nuevos reguladores**

Lugar : La Habana, Cuba  
 Período : 22.06-03.07.2009  
 Apoyo : OIEA

Patricia Bedregal Salas (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre preparación de materiales de referencia**

Lugar : Santiago de Chile, Chile  
 Período : 22-26.06.2009  
 Apoyo : OIEA

Eduardo Montoya Rossi (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre preparación de materiales de referencia**

Lugar : Santiago de Chile, Chile  
 Período : 22-26.06.2009  
 Apoyo : OIEA

Olger Anaya Garro (IPEN)

**Reunión regional sobre la evaluación comparativa de opciones de suministro de energía usando el modelo MESSAGE**

Lugar : Brasilia, Brasil  
 Período : 22-26.06.2009  
 Apoyo : OIEA

José Osoreo Rebaza (IPEN)

**Capacitación sobre el muestreo de biomonitores en aguas frescas y marinas (peces y moluscos) y armonización de procedimientos de muestreo y preparación de muestras**

Lugar : San Salvador, El Salvador  
 Período : 22-26.06.2009  
 Apoyo : OIEA

Pablo Mendoza Hidalgo (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre uso de técnicas estadísticas en el diseño y análisis de monitoreo atmosférico**

Lugar : Montevideo, Uruguay  
 Período : 01-10.07.2009  
 Apoyo : OIEA

Jasmín Hurtado (Universidad Peruana Cayetano Heredia-UPCH)

**Reunión de examen y evaluación sobre las técnicas analíticas nucleares y el seguimiento biológico de la contaminación atmosférica**

Lugar : San Salvador, El Salvador  
 Período : 13-15.07.2009  
 Apoyo : OIEA

Patricia Bedregal Salas (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre organización, evaluación y reportes de ensayo de actitud y rondas**

Lugar : San Salvador, El Salvador  
 Período : 13-17.07.2009  
 Apoyo : OIEA

Juan Avila Lopez (IPEN)

**Workshop on IAEA tools for nuclear energy system assessment for long term planning and development**

Lugar : Viena, Austria  
 Período : 20-23.07.2009  
 Apoyo : OIEA

Carlos Barreda Tamayo (IPEN)

**X reunión ordinaria de coordinación técnica – OCTA de ARCAL**

Lugar : Montevideo, Uruguay  
 Período : 27-31.07.2009  
 Apoyo : OIEA

Carlos Sebastian Calvo (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre las aplicaciones de la tecnología de radiotrazadores en la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales**

Lugar : Camaguey, Cuba  
 Período : 03-07.08.2009  
 Apoyo : OIEA

José Gonzáles Benavides (IPEN)

**Primera reunión de coordinación del proyecto utilización de técnicas nucleares para abordar la doble carga de la malnutrición en América Latina y el Caribe (ARCAL XC)**

Lugar : Vitoria, Brasil  
 Período : 04-07.08.2009  
 Apoyo : OIEA

Andrés Corahua Muñante (IPEN)  
**Visita Científica al IPEN-CNEN**

Lugar : Sao Paulo, Brasil  
 Período : 10-21.08.2009  
 Apoyo : OIEA

Luis Defilippi Shinzato (IPEN)  
**Curso regional de capacitación sobre protección médica y optimización en tomografía computarizada**

Lugar : Managua, Nicaragua  
 Período : 17-21.08.2009  
 Apoyo : OIEA

Gregorio Rojas Pereda (IPEN)  
**Curso regional de capacitación sobre protección médica y optimización en tomografía computarizada**

Lugar : Managua, Nicaragua  
 Período : 17-21.08.2009  
 Apoyo : OIEA

José Paez Apolinario (IPEN)  
**Curso regional de capacitación sobre mantenimiento y control de calidad de equipos de rayos X industriales en laboratorios dosimétricos de calibración secundaria (LSCD)**

Lugar : Montevideo, Uruguay  
 Período : 17-21.08.2009  
 Apoyo : OIEA

María Velásquez Campos (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN))  
**Primera reunión de coordinación del proyecto creación de una red de colaboración y educación en medicina nuclear (ARCA/CXX)**

Lugar : Viena, Austria  
 Período : 17-21.08.2009  
 Apoyo : OIEA

Alberto Montano Chuqui (IPEN)  
**Reunión sobre infraestructura legal para apoyar la introducción de la energía nuclear (RLA/0/038)**

Lugar : Viena, Austria  
 Período : 19-21.08.2009  
 Apoyo : OIEA

Julio Santiago Contreras (IPEN)  
**Curso-taller sobre aplicaciones en nanotecnología en la Escuela Europea de Nanociencias y Nanotecnología (ESONN 2009)**

Lugar : Grenoble, Francia  
 Período : 23.08-12.09.2009  
 Apoyo : OIEA

Eduardo Montoya Rossi (IPEN)  
**5to Taller internacional de usuarios del K sub cero**

Lugar : Belo Horizonte, Minas Gerais Brasil  
 Período : 13-17.09.2009  
 Apoyo : OIEA

Patricia Bedregal Salas (IPEN)  
**5to Taller internacional de usuarios del K sub cero**

Lugar : Belo Horizonte, Minas Gerais Brasil  
 Período : 13-17.09.2009  
 Apoyo : OIEA

José Castro Palomino (IPEN)  
**Curso sobre centrales nucleares**

Lugar : Buenos Aires, Argentina  
 Período : 14.09-14.12.2009

Apoyo : OIEA

Ernesto Rimari Adama (Ministerio de Energía y Minas)  
**Reunión sobre planificación estratégica de recursos humanos sostenibles**

Lugar : Santo Domingo, República Dominicana  
 Período : 21-25.09.2009  
 Apoyo : OIEA

Paola Castillo Silva (IPEN)  
**Reunión sobre planificación estratégica de recursos humanos sostenibles**

Lugar : Santo Domingo, República Dominicana  
 Período : 21-25.09.2009  
 Apoyo : OIEA

Marco Linares Agüero (IPEN)  
**Curso regional de capacitación sobre seguridad de las fuentes radiactivas**

Lugar : Río de Janeiro, Brasil  
 Período : 21-25.09.2009  
 Apoyo : OIEA

Miguel Tiellacuri Carbajal (IPEN)  
**Curso regional de capacitación sobre seguridad de las fuentes radiactivas**

Lugar : Río de Janeiro, Brasil  
 Período : 21-25.09.2009  
 Apoyo : OIEA

Jorge Condori Ccari (IPEN)  
**Curso regional de postgrado en seguridad nuclear**

Lugar : Buenos Aires, Argentina  
 Período : 21.09-11.12.2009  
 Apoyo : OIEA

Jacinto Valencia Herrera (IPEN)  
**Curso regional de capacitación sobre exploración y geología del uranio**

Lugar : Pocos de Caldas, Brasil  
 Período : 28.09-10.10.2009  
 Apoyo : OIEA

Jorge Acosta Ale (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-Ingemmet)  
**Curso regional de capacitación sobre exploración y geología del uranio**

Lugar : Pocos de Caldas, Brasil  
 Período : 28.09-10.10.2009  
 Apoyo : OIEA

Raymond Rivera Cornejo (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-Ingemmet)  
**Curso regional de capacitación sobre exploración y geología del uranio**

Lugar : Pocos de Caldas, Brasil  
 Período : 28.09-10.10.2009  
 Apoyo : OIEA

Jesús Miranda Alzamora (IPEN)  
**Optimización de programas de protección radiológica en prácticas con potencial incorporación de radionúclidos para los trabajadores**

Lugar : Río de Janeiro, Brasil  
 Período : 05-09.10.2009  
 Apoyo : OIEA

Álvaro Aguirre Ancieta (IPEN)  
**Entrenamiento en análisis de seguridad en predisposición y disposición de desechos en repositorios a nivel de superficie**

Lugar : Río de Janeiro, Brasil  
 Período : 05.10-04.12.2009  
 Apoyo : OIEA

Marco Espinoza Zevallos (IPEN)

**Taller sobre implementación de las capacidades RANET en respuesta médica a emergencias radiológicas**

Lugar : Viena, Austria  
 Período : 12-16.10.2009  
 Apoyo : OIEA

Ana Chávez Sernaque (Universidad de Piura)

**Beca de Capacitación en el Centro Investigaciones Energéticas, Medioambientes y Tecnología (CIEMAT)**

Lugar : Madrid, España  
 Período : 14.10-14.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Ignacio Benavent Trullenque (Universidad de Piura)

**Taller de evaluación de avances, interpretación de resultados y revisión del plan de trabajo**

Lugar : San José, Costa Rica  
 Período : 19-23.10.2009  
 Apoyo : OIEA

Ana Paulini Palacios (Universidad de Piura)

**Taller de evaluación de avances, interpretación de resultados y revisión del plan de trabajo**

Lugar : San José, Costa Rica  
 Período : 19-23.10.2009  
 Apoyo : OIEA

Jacinto Valencia Herrera (IPEN)

**Taller de evaluación de avances, interpretación de resultados y revisión del plan de trabajo**

Lugar : San José, Costa Rica  
 Período : 19-23.10.2009  
 Apoyo : OIEA

Agustín Urcia Medina (IPEN)

**Visita científica sobre ejercicio de emergencia radiológica**

Lugar : Río de Janeiro, Brasil  
 Período : 19-23.10.2009  
 Apoyo : OIEA

Mariano Vela Mora (IPEN)

**Visita científica sobre ejercicio de emergencia radiológica**

Lugar : Río de Janeiro, Brasil  
 Período : 19-23.10.2009  
 Apoyo : OIEA

Jorge Martínez Gastelu (IPEN)

**Entrenamiento en detección y evaluación de radón por técnicas de trazas y por la técnica de carbón activado**

Lugar : Buenos Aires, Argentina  
 Período : 19.10-18.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Rubén Bruna Mercado (IPEN)

**Capacitación para reguladores sobre protección radiológica y seguridad en la práctica de radiografía industrial**

Lugar : Río de Janeiro, Brasil  
 Período : 26-30.10.2009  
 Apoyo : OIEA

Carlos Barreda Tamayo (IPEN)

**Reunión extraordinaria del OCTA. Acuerdo regional para el fortalecimiento del programa regional latinoamericana (ARCAL XCVI)**

Lugar : Cartagena, Colombia  
 Período : 26-30.10.2009  
 Apoyo : OIEA

Iván Llamas Montoya (IPEN)

**Curso regional sobre energía nuclear sobre infraestructura y programas relacionados con proyectos en los nuevos estados de energía nuclear**

Lugar : Illinois, Estados Unidos  
 Período : 26.10-06.11.2009  
 Apoyo : OIEA

César Pizarro Castro (IPEN)

**Curso regional sobre energía nuclear sobre infraestructura y programas relacionados con proyectos en los nuevos estados de energía nuclear**

Lugar : Illinois, Estados Unidos  
 Período : 26.10-06.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Gustavo Sarria Bardales (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN))

**Primera reunión del proyecto RLA/6/063 Mejoramiento de la atención a los pacientes con enfermedades cardíacas y con cáncer mediante el fortalecimiento de las técnicas de medicina nuclear en América Latina y el Caribe**

Lugar : Cartagena, Colombia  
 Período : 01-04.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Carmen Ponce Terashima (Universidad Nacional Agraria La Molina-UNALM)

**Capacitación sobre nuevas biotecnologías y tecnologías moleculares para aumentar la eficiencia de la inducción de mutaciones**

Lugar : Seibersdorf, Viena Austria  
 Período : 02.11-04.12.2009  
 Apoyo : OIEA

Lourdes Gómez Bolívar (Instituto Nacional de Defensa Civil-Indeci)

**Aplicación de los requerimientos (GS-R-2), guía para desarrollar la capacidad nacional de respuesta a emergencias nucleares o radiológicas**

Lugar : Caracas, Venezuela  
 Período : 02-06.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Humberto Flores Arévalo (IPEN)

**Curso regional de formación sobre la lucha contra el tráfico ilícito de materiales nucleares y otros materiales radiactivos**

Lugar : Río de Janeiro, Brasil  
 Período : 03-06.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Wilmer Untiveros Morales (Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (Sunat))

**Curso regional de formación sobre la lucha contra el tráfico ilícito de materiales nucleares y otros materiales radiactivos**

Lugar : Río de Janeiro, Brasil  
 Período : 03-06.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Orlando Lucas Aguirre (Servicio Nacional de Sanidad Agraria-Senasa)

**Reunión regional del proyecto implementación de un sistema de diagnóstico para evaluar el impacto de contaminación por pesticidas en alimentos y compartimientos ambientales en la región de América Latina y el Caribe (ARCAL CII)**

Lugar : Sao Paulo, Brasil  
 Período : 13-16.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Renee Herrera Taquia (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN))

**Taller sobre difusión pública de donación y trasplante de órganos**

Lugar : Montevideo, Uruguay  
 Período : 10-14.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Eleazar Aliaga Rojas (IPEN)

**Reunión técnica sobre radiofármacos terapéuticos**

Lugar : Viena, Austria  
 Período : 16-20.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Eleazar Aliaga Rojas (IPEN)

**Reunión técnica sobre desarrollo de radiofármacos terapéuticos basados en Lu-177 para terapia radionucleídica**

Lugar : Praga, República Checa  
 Período : 23-27.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Julio Santiago Contreras (IPEN)

**Reunión final de coordinación del proyecto: Utilización de las técnicas de análisis nucleares y creación de bases de datos para la caracterización y preservación de los objetos del patrimonio cultural nacional**

Lugar : Quito, Ecuador  
 Período : 16-20.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Carlos Del Valle Odar (IPEN)

**Reunión regional sobre armonización, implementación y uso de métodos de aseguramiento y control de calidad**

Lugar : Montevideo, Uruguay  
 Período : 16-20.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Gerardo Maghella Seminario (IPEN)

**Capacitación sobre el uso de la técnica de precipitación radionucleidos (FRN), para estimar la erosión del suelo y evaluar la eficacia de las medidas de conservación del suelo**

Lugar : La Habana, Cuba  
 Período : 16-27.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Tony Benavente Alvarado (IPEN)

**Visita científica a la CNEN-IRD**

Lugar : Río de Janeiro, Brasil  
 Período : 16-27.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Susana González Villalobos (IPEN)

**Visita científica. Fortalecimiento y actualización de las competencias para protección de la salud y la seguridad de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a la radiación ionizante**

Lugar : Madrid, España  
 Período : 16-27.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Gorki Meléndez Talledo (Universidad de Piura)

**Capacitación para la contribución de las aguas superficiales y las de drenaje de riesgos agrícolas como posibles fuentes de recarga y de contaminación de aguas de acuíferos subterráneo. PER/8/015**

Lugar : Mérida, Venezuela  
 Período : 16-27.11.2009  
 Apoyo : OIEA

Gerardo Lázaro Moreyra (IPEN)

**Capacitación sobre sistemas nacionales de contabilidad y control de materiales nucleares**

Lugar : Río de Janeiro, Brasil

Período : 16-27.11.2009

Apoyo : OIEA

Deali Salazar Huamani (Servicio Nacional de Sanidad Agraria-Senasa)

**Reunión del proyecto regional RLA/5/055**

Lugar : Santiago de Chile, Chile

Período : 17-26.11.2009

Apoyo : OIEA

Rolando Arrieta Bernabé (IPEN)

**Reunión regional para preparar y consolidar un plan de referencia regional para el desarrollo de capacidades y compartir recursos de investigación básica y aplicada usando reactores de investigación**

Lugar : Sao Paulo, Brasil

Período : 23-27.11.2009

Apoyo : OIEA

David Carrillo Segura (IPEN)

**Reunión regional para preparar y consolidar un plan de referencia regional para el desarrollo de capacidades y compartir recursos de investigación básica y aplicada usando reactores de investigación**

Lugar : Sao Paulo, Brasil

Período : 23-27.11.2009

Apoyo : OIEA

Ana Ramos Moreno (Servicio Nacional de Sanidad Agraria-Senasa)

**Curso de primer nivel sobre la estimación de pesticidas en microambientes, revisión de planes de muestreos y uso de bioindicadores y procedimientos analíticos en agua y sedimentos**

Lugar : San José, Costa Rica

Período : 23.11-04.12.2009

Apoyo : OIEA

Luis Pinillos Ashton (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN))

**International conference on modern radiotherapy: Challenges and advances in radiation protection of patients**

Lugar : Versailles, Francia

Período : 02-04.12.2009

Apoyo : OIEA

Eduardo Montoya Rossi (IPEN)

**Preparation of guidelines on implementation of routine automation in advanced neutron activation analysis laboratories**

Lugar : Viena, Austria

Período : 02-04.12.2009

Apoyo : OIEA

Tony Benavente Alvarado (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre protección radiológica y optimización en procedimientos de intervencionismo**

Lugar : Sao Paulo, Brasil

Período : 07-11.12.2009

Apoyo : OIEA

Rubén Rojas Molina (IPEN)

**Reunión regional para la selección y evaluación del emplazamiento para centrales nucleares**

Lugar : Montevideo, Uruguay

Período : 07-11.12.2009

Apoyo : OIEA

Patricia Saavedra Sobrados (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN))

**Capacitación sobre cardiología nuclear en enfermedad cardíaca isquémica**

Lugar : Santo Domingo, República Dominicana  
 Período : 14-18.12.2009  
 Apoyo : OIEA

## H. Programa de entrenamientos y cursos organizados por el IPEN-OIEA en Perú

Santiago Regalado (IPEN)  
**Reunión regional sobre fortalecimientos de los sistemas nacionales de preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear y radiológica**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 11-13.05.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Marco Espinoza (IPEN)  
**Reunión regional sobre fortalecimientos de los sistemas nacionales de preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear y radiológica**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 11-13.05.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Agustín Urcia (IPEN)  
**Reunión regional sobre fortalecimientos de los sistemas nacionales de preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear y radiológica**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 11-13.05.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Julio Villanueva (IPEN)  
**Reunión regional sobre fortalecimientos de los sistemas nacionales de preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear y radiológica**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 11-13.05.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Yuri Ravello (IPEN)  
**Reunión regional sobre fortalecimientos de los sistemas nacionales de preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear y radiológica**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 11-13.05.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Rolando Arrieta Bernabe (IPEN)  
**Curso virtual de capacitación sobre el modelo Message para elaborar estrategias de energía sostenible, vía on-line**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 25.05-05.06.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Juan Peralta Medina (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería-Osinergmin)  
**Curso virtual de capacitación sobre el modelo Message para elaborar estrategias de energía sostenible, vía on-line**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 25.05-05.06.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Julio Villanueva Rivera (IPEN)  
**Curso regional de seguridad en el transporte de material radiactivo**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 08-12.06.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Miguel Tiellacuri Carbajal (IPEN)

**Curso regional de seguridad en el transporte de material radiactivo**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 08-12.06.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Walter Cruz Choquehuanca (IPEN)  
**Curso regional de seguridad en el transporte de material radiactivo**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 08-12.06.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Enoc Mamani Humpiri (IPEN)  
**Curso regional de seguridad en el transporte de material radiactivo**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 08-12.06.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Gerardo Maghella Seminario (IPEN)  
**Curso regional de seguridad en el transporte de material radiactivo**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 08-12.06.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Álvaro Aguirre Ancieta (IPEN)  
**Curso regional de seguridad en el transporte de material radiactivo**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 08-12.06.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Santiago Ticona Toalino (IPEN)  
**Curso regional de seguridad en el transporte de material radiactivo**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 08-12.06.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Mariano Vela Mora (IPEN)  
**Curso regional de seguridad en el transporte de material radiactivo**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 08-12.06.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Luis Perez Roca (Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (Sunat))  
**Curso regional de seguridad en el transporte de material radiactivo**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 08-12.06.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Carlos Herrera Leveratto (Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional-COES)  
**Curso regional de capacitación sobre planificación de infraestructura energética sostenible usando el modelo Message**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 24.08-04.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Edward Angelino Zuñiga (Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional-COES)  
**Curso regional de capacitación sobre planificación de infraestructura energética sostenible usando el modelo Message**  
 Lugar : Lima, Perú  
 Período : 24.08-04.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Victor Altamirano León (Petróleos del Perú-PetroPerú)  
**Curso regional de capacitación sobre planificación de infraestructura energética sostenible usando el modelo Message**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 24.08-04.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Eugenio Lengua Fernández (Petróleos del Perú-PetroPerú)

**Curso regional de capacitación sobre planificación de infraestructura energética sostenible usando el modelo Message**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 24.08-04.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Ernesto Rimari Adama (Ministerio de Energía y Minas)  
**Curso regional de capacitación sobre planificación de infraestructura energética sostenible usando el modelo Message**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 24.08-04.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Carlos Cáceres Casaverde (Ministerio de Energía y Minas)

**Curso regional de capacitación sobre planificación de infraestructura energética sostenible usando el modelo Message**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 24.08-04.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Julio Pardo-Figueroa Yabar (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería-Osinergmin)

**Curso regional de capacitación sobre planificación de infraestructura energética sostenible usando el modelo Message**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 24.08-04.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Juan Avila López (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre planificación de infraestructura energética sostenible usando el modelo Message**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 24.08-04.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Olgger Anaya Garro (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre planificación de infraestructura energética sostenible usando el modelo Message**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 24.08-04.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

César Pizarro Castro (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre planificación de infraestructura energética sostenible usando el modelo Message**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 24.08-04.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Juan Avila López (IPEN)

**Reunión para definir estudios, estrategias y técnicas de comunicación para las partes involucradas**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-11.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Olgger Anaya Garro (IPEN)

**Reunión para definir estudios, estrategias y técnicas de comunicación para las partes involucradas**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-11.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

César Pizarro Castro (IPEN)

**Reunión para definir estudios, estrategias y técnicas de comunicación para las partes involucradas**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-11.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Patricia Henríquez La Cotera (IPEN)

**Reunión para definir estudios, estrategias y técnicas de comunicación para las partes involucradas**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-11.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Ernesto Rimari Adama (Ministerio de Energía y Minas)  
**Reunión para definir estudios, estrategias y técnicas de comunicación para las partes involucradas**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-11.09.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Germán Mendoza Pérez (IPEN)

**Curso regional de capacitación para instructores en gestión de calidad**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 28.09-02.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Daniel Aguilar Rivera (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN))

**Curso regional de capacitación para instructores en gestión de calidad**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 28.09-02.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Daniel Santos Orihuela (Seguro Social del Perú-Essalud)

**Curso regional de capacitación para instructores en gestión de calidad**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 28.09-02.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Edwin Acevedo Toralva (Seguro Social del Perú-Essalud)

**Curso regional de capacitación para instructores en gestión de calidad**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 28.09-02.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Jannina Avalos Vigo (Seguro Social del Perú-Essalud)

**Curso regional de capacitación para instructores en gestión de calidad**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 28.09-02.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Anita Robles Ñique (IPEN)

**Curso regional de capacitación para instructores en gestión de calidad**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 28.09-02.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Rossana Morales Guzmán-Barrón (IPEN)

**Curso regional de capacitación para instructores en gestión de calidad**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 28.09-02.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Alexander Cárdenas Solano (Clínica Hospitalaria San Pablo)

**Curso regional de capacitación para instructores en gestión de calidad**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 28.09-02.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Cecilia Aguilar Ramírez (Seguro Social del Perú-Essalud-Arequipa)

**Curso regional de capacitación para instructores en gestión de calidad**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 28.09-02.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Giovanna Rojas Cuadros (Seguro Social del Perú-Essalud-Arequipa)

**Curso regional de capacitación para instructores en gestión de calidad**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 28.09-02.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Susana Castro Pando (Universidad Peruana Cayetano Heredia-UPCH)

**Curso regional de capacitación sobre la patología molecular y los aspectos clínicos de la fascioliasis**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 05-09.10.2009  
 Apoyo : OIEA -IPEN

Jimena Collantes Loo (Universidad Peruana Cayetano Heredia-UPCH)

**Curso regional de capacitación sobre la patología molecular y los aspectos clínicos de la fascioliasis**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 05-09.10.2009  
 Apoyo : OIEA -IPEN

Amanda Chávez Velásquez (Universidad Nacional Mayor de San Marcos-UNMSM)

**Curso regional de capacitación sobre la patología molecular y los aspectos clínicos de la fascioliasis**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 05-09.10.2009  
 Apoyo : OIEA -IPEN

Oscar Baltuano Elías (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre actualización del software Labview**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 12-16.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Ever Cifuentes Noreña (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre actualización del software Labview**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 12-16.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Eduardo Cunya Carmona (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre actualización del software Labview**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 12-16.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Edgar Valdivia Zeballos (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre actualización del software Labview**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 12-16.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Pablo Arias Pérez (IPEN)

**Curso regional de capacitación sobre actualización del software Labview**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 12-16.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

José Osoreo Rebaza (IPEN)

**III Taller Internacional de la Red Iberoamericana de Laboratorios de Análisis de Radioactividad de Alimentos (RILARA)**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 26-30.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Raúl Jara Martínez (IPEN)

**III Taller Internacional de la Red Iberoamericana de Laboratorios de Análisis de Radioactividad de Alimentos (RILARA)**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 26-30.10.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Marco Espinoza Zevallos (IPEN)

**Reunión regional sobre los resultados de la intercomparación biodosimétrica**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 23-27.11.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Juan Agapito Panta (IPEN)

**Reunión regional sobre los resultados de la intercomparación biodosimétrica**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 23-27.11.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Ángel Montes Osorio (INDE)

**Reunión regional sobre los resultados de la intercomparación biodosimétrica**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 23-27.11.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Elder Celedonio Ortega (IPEN)

**Reunión regional sobre los resultados de la intercomparación biodosimétrica**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 23-27.11.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Marco Linares Agüero (IPEN)

**Reunión regional sobre los resultados de la intercomparación biodosimétrica**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 23-27.11.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Nilda Oliveros Rodríguez (Universidad Nacional Mayor de San Marcos-UNMSM)

**Reunión regional sobre los resultados de la intercomparación biodosimétrica**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 23-27.11.2009  
 Organización: OIEA-IPEN

Jacinto Valencia Herrera (IPEN)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

Renán Ramírez Quijada (IPEN)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

Francisco Vidarte García (ALEPH)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

Guido Arroyo Pauca (Austria Duvaz)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

Jorge Acosta Ale (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-Ingemmet)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

Raymond Rivera Cornejo (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-Ingemmet)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

Santiago Regalado Campaña (IPEN)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

Marco Espinoza Zevallos (IPEN)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

Genaro Rodríguez Carbajal (IPEN)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

Jorge Martínez Gastelú (IPEN)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

Enoc Mamani Humpiri (IPEN)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

José Maguiña León (IPEN)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

José Osoreo Rebaza (IPEN)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

Jessica Guerrero Portugal (IPEN)

**Reunión regional sobre marco jurídico, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 07-10.12.2009  
 Apoyo : OIEA-IPEN

**I. Estancias y Pasantías a Investigadores Extranjeros**

Walter Vicentino (Uruguay)

**Entrenamiento en radioesterilización de productos médicos cosméticos y tejidos biológicos (Centro Nuclear RACSO)**

Lugar : Lima, Perú  
 Período : 04-29.05.2009

**J. Proyectos Financiados por el Organismo Internacional de Energía Atómica a través del Acuerdo Regional para la Cooperación en América Latina (ARCAL)****J.1 Proyectos nacionales para el bienio 2009-2011**

PER/0/023 **Mejoramiento y fortalecimiento del desarrollo de recursos humanos y apoyo a la tecnología nuclear**

Coordinador: Edgard Medina Flores (IPEN)

PER/4/023 **Modernización y mejoramiento de la utilización del reactor RP-10**

Coordinador: Olger Anaya Garro (IPEN)

PER/6/016 **Mejoramiento del manejo del cáncer y enfermedades cardíacas a través de la instalación de un ciclotrón y la implementación de la tomografía por emisión de positrones en la práctica clínica**

Coordinador: Manuel Castro Vicente (IPEN)

## J.2 Proyectos regionales

**RLA/0/040 Formación de capacidades para el desarrollo de energía sostenible (Fase II)**  
 Coordinador : Juan Avila López

**RLA/3/009 Fortalecimiento de la infraestructura para la gestión de residuos radiactivos en los países de América Latina y el Caribe**  
 Coordinador: Mario Mallaupoma Gutierrez

**RLA/3/010 Mejora regional de las técnicas de prospección, explotación y producción de concentrado de uranio teniendo en cuenta los problemas ambientales**  
 Coordinador: Jacinto Valencia Herrera

**RLA/9/061 Fortalecimiento de sistemas nacionales para la preparación y respuesta a emergencias nucleares y radiológicas**  
 Coordinador: Santiago Regalado Campaña

**RLA/9/062 Fortalecimiento de la infraestructura nacional y marco regulatorio para la gestión segura de residuos radiactivos en los países de América Latina**  
 Coordinador: Carlos Ampuero Flores

**RLA/9/063 Desarrollo de recursos humanos en la esfera de la seguridad física nuclear**  
 Coordinador: Santiago Regalado Campaña

**RLA/9/064 Fortalecimiento de las infraestructuras reglamentarias nacionales para el control de las fuentes de radiación**  
 Coordinador: Renán Ramírez Quijada

**RLA/9/065 Apoyo a la infraestructura de protección radiológica a través de la educación y entrenamiento** Coordinador: Edgard Medina Flores

**RLA/9/066 Fortalecimiento y actualización de capacidades técnicas para la protección de la salud y seguridad de trabajadores ocupacionalmente expuesto a las radiaciones ionizantes**  
 Coordinadora: Susana Gonzáles Villalobos

**RLA/9/067 Aseguramiento de la protección radiológica de pacientes durante exposiciones médicas**  
 Coordinador: Tony Benavente Alvarado

## J.3 Proyectos regionales ARCAL

**RLA/0/037 Apoyo al incremento sostenible en el uso de reactores de investigación en la región de América Latina y el Caribe mediante el establecimiento de redes de trabajo, intercambio de experiencias, preservación de conocimiento y capacitación de recursos humanos. (ARCAL CXIX)**  
 Coordinador: Ivan Llamas Montoya (IPEN)

**RLA/0/038 Apoyo a la introducción de la energía nuclear (ARCAL XCV)**  
 Coordinadores: Carlos Barreda Tamayo / Alberto Montano Chuqui (IPEN)

**RLA/0/039 Creación de una red latinoamericana para colaboración y educación en medicina nuclear. (ARCAL CXX)**  
 Coordinador: Roque Cano Pérez (IPEN)

**RLA/0/042 Acuerdo regional para el fortalecimiento del programa regional latinoamericano. (ARCAL XCVI)**  
 Coordinador: Alberto Montano Chuqui (IPEN)

**RLA/2/014 Mejoramiento de la calidad analítica a través de capacitación en aseguramiento de la calidad, pruebas de proficiencia y certificación de materiales de referencia matrices usando técnicas analíticas nucleares y relacionadas en América Latina. (ARCAL XCVII)**  
 Coordinadora: Patricia Bedregal Salas

**RLA/3/007 Desarrollo de una conversión costo efectiva de cascos para el almacenaje a largo plazo de combustibles gastados en un reactor de investigación. (ARCAL XCVIII)**  
 Coordinador: Constantino León Benites (IPEN)

**RLA/4/022 Actualización de conocimiento, introducción de nuevas técnicas y mejoramiento de la calidad de las actividades de instrumentación nuclear. (ARCAL XCIX)**  
 Coordinador: Edgar Valdivia Zeballos (IPEN)

**RLA/5/051 Uso de radionúclidos ambientales como indicadores de degradación de tierras en América Latina, el Caribe y en ecosistemas antárticos. (ARCAL C)**  
 Coordinador: Ruben Rojas Molina (IPEN)

**RLA/5/053 Implementación de un sistema de diagnóstico para evaluar el impacto de contaminación por pesticidas en alimentos y compartimientos ambientales en la región de América Latina y el Caribe. (ARCAL CII)**  
 Coordinador: Orlando Lucas Aguirre (Servicio Nacional de Sanidad Agraria-SENASA)

**RLA/5/054 Aseguramiento de la seguridad en alimentos marítimos en América Latina y el Caribe a través de un programa regional de monitoreo de contaminantes en moluscos y pescados. (ARCAL CIII)**  
 Coordinador: Manuel Osoreo Rebaza (IPEN)

**RLA/5/055 Establecimiento de una red de laboratorios latinoamericanos de referencia para el análisis de sustancias farmacológicamente activas y contaminantes en alimentos de origen animal. (ARCAL CIV)**  
 Coordinador: Orlando Lucas Aguirre (Servicio Nacional de Sanidad Agraria-SENASA)

**RLA/5/056 Mejoramiento de granos en América Latina a través de mutaciones inducidas. (ARCAL CV)**  
 Coordinadora: Luz Gómez Pando (Universidad Nacional Agraria La Molina-UNALM)

**RLA/6/061 Capacitación y actualización de conocimiento en física médica. (ARCAL CVII)**  
 Coordinadora: María Velásquez Campos (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas-INEN)

**RLA/6/062 Consolidación de banco de tejidos en América Latina y esterilización de injertos utilizando radiaciones. (ARCAL CVIII)**  
 Coordinadora: Emma Castro Gamero (IPEN)

**RLA/6/063 Mejoramiento del manejo de enfermedades cardíacas y de pacientes de cáncer mediante el fortalecimiento de técnicas de medicina nuclear en la región de América Latina y el Caribe. (ARCAL CIX)**  
 Coordinador: Gustavo Sarria Bardales (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas-INEN)

**RLA/6/064 Utilización de técnicas nucleares para abordar la doble carga de la malnutrición en América Latina y el Caribe.** (ARCAL XC)  
 Coordinador: José Gonzales Benavides (Instituto Especializado de Salud del Niño)

**RLA/6/065 Fortalecimiento del aseguramiento de la calidad en medicina nuclear.** (ARCAL CXI)  
 Coordinadora: Rosanna Morales Guzmán-Barrón (IPEN)

**RLA/6/068 Mejoramiento del aseguramiento de la calidad en radioterapia en la región de América Latina.** (ARCAL CXIV)  
 Coordinador: Gustavo Sarria Bardales (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas-INEN)

**RLA/7/013 Uso de técnicas nucleares para determinar la contaminación en el siglo XX, historia y fuentes recientes de contaminación en el pacífico y zonas costeras del atlántico y de los países de América Latina.** (ARCAL CXV)  
 Coordinador: Julio Santiago Contreras (IPEN)

**RLA/8/044 Establecimiento de un programa regional de armonización para la calificación y certificación de personal y de infraestructura usada en sistemas para pruebas no destructivas, estructuras y componentes.** (ARCAL CXVII)  
 Coordinador: Regulo Visurraga Sosa (IPEN)

**RLA/8/046 Establecimiento de control de calidad para los procesos de irradiación industrial.** (ARCAL CXVIII)  
 Coordinador: Marco Linares Agüero (IPEN)

## K. Misiones de Expertos

Nombre : Daniel Martinez  
 Procedencia : OIEA  
 Tema : **Evaluación del modelo conceptual hidroquímico e isotópico del acuífero de Mancora en el norte del Perú (PER/8/015)**  
 Fecha : 15-21.03.2009

Nombre : Ivonne Lokko  
 Procedencia : OIEA  
 Tema : **Evaluación del programa de mutaciones inducidas de Cereales de la UNALM y visitas a los campos de experimentación en la sierra central del país (PER/5/029)**  
 Fecha : 23-27.03.2009

Nombre : Manuel Rodríguez Castillo  
 Procedencia : OIEA  
 Tema : **Dictado del curso sobre radio-diagnóstico para la Maestría en Física Médica que ejecutan IPEN-UNI (PER/0/022)**  
 Fecha : 23.03-8.04.2009

Nombre : Víctor Bourel  
 Procedencia : OIEA  
 Tema : **Dictado del curso de Física de Radioterapia I para la Maestría de Física Médica que ejecutan el IPEN-UNI (PER/0/022)**  
 Fecha : 13-30.04.2009

Nombre : Claudia de Pinho Mauricio  
 Procedencia : OIEA  
 Tema : **Evaluación de la exposición ocupacional de fuentes externas de radiación en ambientes neutrón-gamma, operación y calibración de sistemas dosimétricos ( RLA9/066)**  
 Fecha : 13-17.04.2009

Nombre : Demerval Leónidas Rodríguez  
 Procedencia : OIEA  
 Tema : **Revisión y análisis del programa de protección radiológica ocupacional en la Planta de Producción de Radioisótopos del Centro Nuclear RACSO (RLA/9/056)**  
 Fecha : 19-25.04.2009

Nombre : Frederic A. Morris  
 Procedencia : Pacific Northwest National Lab.  
 Tema : **Discusión de un programa de sostenibilidad del programa de seguridad física de instalaciones radiactivas con fuentes relevantes**  
 Fecha : 6-7.04.2009

Nombre : Lars C. Olsen  
 Procedencia : Pacific Northwest National Lab.  
 Tema : **Discusión de un programa de sostenibilidad del programa de seguridad física de instalaciones radiactivas con fuentes relevantes**  
 Fecha : 6-7.04.2009

Nombre : Erika McCaw  
 Procedencia : Pacific Northwest National Lab.  
 Tema : **Discusión de un programa de sostenibilidad del programa de seguridad física de instalaciones radiactivas con fuentes relevantes**  
 Fecha : 6-7.04.2009

Nombre : Alain Cardoso  
 Procedencia : OIEA  
 Tema : **I Reunión del proyecto sobre preparación para emergencias nucleares y radiológicas RLA/9/061**  
 Fecha : 11-13.05.2009

Nombre : Peter Zombori  
 Procedencia : OIEA  
 Tema : **I Reunión del proyecto sobre preparación para emergencias nucleares y radiológicas RLA/9/061**  
 Fecha : 11-13.05.2009

Nombre : Michael Strosinsky  
 Procedencia : Sandia National Lab.  
 Tema : **Evaluación Contrato SNL-IPEN sobre mejoras de la seguridad física en las instalaciones nucleares del Perú**  
 Fecha : 2-5.06.2009

Nombre : Ann Margreth Erikson  
 Procedencia : OIEA  
 Tema : **Curso regional de capacitación sobre la seguridad física en el transporte de material radiactivo**  
 Fecha : 8-12.06.2009

Nombre : Richard Rawl  
 Procedencia : OIEA  
 Tema : **Curso regional de capacitación sobre la seguridad física en el transporte de material radiactivo**  
 Fecha : 8-12.06.2009

Nombre : Peter Ellis  
 Procedencia : OIEA  
 Tema : **Curso regional de capacitación sobre la seguridad física en el transporte de material radiactivo**  
 Fecha : 8-12.06.2009

Nombre : Hernán Vera Ruiz  
 Procedencia : OIEA  
 Tema : **Asesoría para la elaboración del estudio de factibilidad, definición de especificaciones**

técnicas y dictado de conferencias sobre el uso del ciclotrón para el diagnóstico y tratamiento del cáncer

Fecha : 22.06-10.07.2009

Nombre : Seetharaman Mukkavilli

Procedencia : OIEA

Tema : **Evaluación sobre el uso de la tecnología de irradiación**

Fecha : 30.06-3.07.2009

Nombre : Rodolfo Nayga

Procedencia : OIEA- Universidad de Arkansas

Tema : **Evaluación sobre el uso de la tecnología de irradiación**

Fecha : 30.06-3.07.2009

Nombre : Guy Hallman

Procedencia : Dpto. de Agricultura de EE.UU.

Tema : **Evaluación sobre el uso de la tecnología de irradiación**

Fecha : 30.06-3.07.2009

Nombre : Víctor Heil Weil

Procedencia : OIEA

Tema : **Evaluación del Proyecto PER/8/015 a cargo de la Universidad de Piura**

Fecha : 20-26.09.2009

Nombre : Carmina Jiménez

Procedencia : OIEA

Tema : **Asistencia para la elaboración del marco programático nacional para la cooperación técnica**

Fecha : 20-24.10.2009

Nombre : Orlando Coto Arbelo

Procedencia : OIEA

Tema : **Evaluación de proyectos a cargo de la Universidad Nacional Agraria de La Molina (UNALM)**

Fecha : 02-06.11.2009

Nombre : Alberto Raúl Prina

Procedencia : OIEA

Tema : **Evaluación de proyectos a cargo de la Universidad Nacional Agraria de La Molina (UNALM)**

Fecha : 02-06.11.2009

Nombre : Augusto Tulmann Neto

Procedencia : OIEA

Tema : **Evaluación de proyectos a cargo de la Universidad Nacional Agraria de La Molina (UNALM)**

Fecha : 02-06.11.2009

Nombre : Pablo Cristini

Procedencia : OIEA

Tema : **Análisis del reactor RP-10 para la producción de Mo-99**

Fecha : 16-20.11.2009

Nombre : Roberto Haddad

Procedencia : OIEA

Tema : **Evaluación de la corrosión de materiales metálicos expuestos a flujos neutrónicos**

Fecha : 19-23.11.2009

Nombre : Laurence Roy

Procedencia : OIEA

Tema : **Reunión regional sobre "Resultados de las intercomparaciones biodosimétricas". Fortalecimiento de los Sistemas**

**Nacionales de Preparación y Respuesta a las Emergencias Radiológicas y Nucleares (RLA/9/061)**

Fecha : 23-27.11.2009

Nombre : Francesco Barquinero

Procedencia : OIEA

Tema : **Reunión regional sobre Resultados de las intercomparaciones biodosimétricas. Fortalecimiento de los Sistemas Nacionales de Preparación y Respuesta a las Emergencias Radiológicas y Nucleares (RLA/9/061)**

Fecha : 23-27.11.2009

Nombre : Michael Shaun Guy

Procedencia : OIEA

Tema : **Reunión regional sobre marcos jurídicos, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Fecha : 7-10.12.2009

Nombre : Jan Slezak

Procedencia : OIEA

Tema : **Reunión regional sobre marcos jurídicos, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Fecha : 7-10.12.2009

Nombre : Daniel Nyvlt

Procedencia : OIEA

Tema : **Reunión regional sobre marcos jurídicos, las infraestructuras de reglamentación y la seguridad radiológica en el ciclo de producción de uranio**

Fecha : 7-10.12.2009

Nombre : Cristy Abeyta

Procedencia : Laboratorio Los Álamos (EE.UU.)

Tema : **Misión de repatriación de fuentes selladas en desuso de origen americano**

Fecha : 5-19.12.2009

Nombre : Dwaine Brown

Procedencia : Laboratorio Los Álamos (EE.UU.)

Tema : **Misión de repatriación de fuentes selladas en desuso de origen americano**

Fecha : 5-19.12.2009

Nombre : Leonard Manzanares

Procedencia : Laboratorio Los Álamos (EE.UU.)

Tema : **Misión de repatriación de fuentes selladas en desuso de origen americano**

Fecha : 5-19.12.2009

Nombre : Jim Matzke

Procedencia : Laboratorio Los Álamos (EE.UU.)

Tema : **Misión de repatriación de fuentes selladas en desuso de origen americano**

Fecha : 5-19.12.2009

Nombre : J. Andrew Tompkins

Procedencia : Laboratorio Los Álamos (EE.UU.)

Tema : **Misión de repatriación de fuentes selladas en desuso de origen americano**

Fecha : 5-19.12.2009

## L. Proyectos de investigación concursados

Investigador : Marco Munive Sánchez

Proyecto : **Desarrollo de un sistema económico para monitorear radón en instalaciones industriales y de vivienda.**

Fuente : Concurso nacional de subvenciones para  
Proyectos de Investigación en Ciencia y Tecnología  
PROCYT, PROCOM y PROTEC 2009

Investigador : José Solís Véliz  
Proyecto : **Síntesis de nuevos materiales  
nanoestructurados del sistema Sn-W-O para  
descontaminación de agua empleando radiación  
solar.**

Fuente : Concurso nacional de subvenciones para  
Proyectos de Investigación en Ciencia y Tecnología  
PROCYT, PROCOM y PROTEC 2009

## Índice de Autores

### A

Acha Otilia	29
Agapito Juan	159,163,166
Aguirre Álvaro	137
Airas Rosa	54
Alama Daniel	186
Alcalde Javier	10
Altamirano Víctor	131
Alvarado Arnaldo	166
Amico Hernán	195
Anaya Olgger	131
Arceo Carolina	211
Arrieta Rolando	107
Ávila Juan	131
Avilés Rosa	25

### B

Baltuano Oscar	107
Barquintero Francesc	211
Barreto Teresa	163
Bedregal Patricia	16,41,48
Benavente Tony	125
Benites María	115
Braga Nathalia	226
Bravo Jorge	10
Bruno Natanael	220

### C

Cáceres Carlos	131
Canaza Dionisio	107
Candal Roberto	75
Cano Roque	169
Carcelen Fernando	163,166
Carrasco Eduardo	195
Carrión Justo	25
Castro Emma	153,186
Cavero Luis	112,195
Cifuentes Ever	125
Cohen Isac	41
Collantes Ingrid	29
Condori Jorge	142,145,149,151
Corahua Andrés	115,121
Cruz Walter	178,183
Cunya Eduardo	183

### D

De Luca Julio	211
Di Giorgio Marina	211

Di Tomasso María	211
------------------	-----

### E

Espinoza Marco	205,211
Estrada Walter	75

### G

Gago Javier	3,87
Garay Zoila	29
García Omar	211
Gayoso Carlos	230
Gonzáles Rosa	166
Gonzáles Susana	175,200
González Jorge	211
Guerrero Citlali	211
Guevara Buenaventura	121

### H

Hernández Yuri	178
Herrera Carlos	195
Herrera Jorge	112
Huatay Luis	112,178,195

### J

Jara Raúl	175,200,223
-----------	-------------

### K

Koga Roberto	112
--------------	-----

### L

Lamadrid Ana	211
Landauro Carlos	97
León Kety	25,87
Linares Marco	153,186
Lobato Iván	36,97
López Alcides	3,10,29,87,92
López Carmen	54
López Edith	175,200

### M

Maghella Gerardo	142,148,151
Maguiña José	142,145,148
Mallaupoma Mario	178,195,220,226,234
Mamani Enoc	142,145,148,151
Mandina Tania	211
María Taja	211

Martínez Jorge	175,200
Martínez Ramos	112
Martínez Wilner	211
Medina Edgard	234
Medina Max	112
Méndez Leticia	211
Mendoza Germán	169
Mendoza Pablo	16,41,48,54,115
Miranda Jesús	115
Mires Roxana	166
Montes Angel	159
Montoya Eduardo	16,41,48,54
Montoya Modesto	36,82
Morales Rosanna	169

**O**

Ocaña Elías	112,121
Olivera Paula	10,29,60,67
Oliveros Nilda	211
Osores José	175,192,200,223

**P**

Pacheco Jonathan	195
Pardo José	121
Paria Robert	92
Petrick Susana	10,60
Pita Carlos	234
Portocarrero Pilar	67
Porturas Katerine	166
Pretel Tommy	137,183

**Q**

Quintana María	75
----------------	----

**R**

Radl Analía	211
Rodríguez Carolina	163
Rodríguez Genaro	137
Rodríguez Jorge	159,163,166
Rodríguez Juan	75
Rojas Enrique	125
Rojas Justo	36,82,97
Romero Ivone	211
Roy Laurence	211

**S**

San Martín Felipe	163,166
Santiago Julio	10,25,29
Seoane Analía	211
Sobreira Ana	226
Solís José	75,87,92

Souza Amanda	29
Stuck Mónica	211

**T**

Taja María	211
Torres Blanca	41
Torres Juan	97

**U**

Ubillús Marco	16,41,48
Urcia Agustín	107

**V**

Valdivia Patricia	211
Vallerga María	211
Vargas Johnny	153,186
Vetter Luisa	10,60
Villanueva Liz	186
Vivanco Mónica	186

**Y**

Yaupar Yezenia	10
----------------	----

**Z**

Zapata Luis	195
-------------	-----