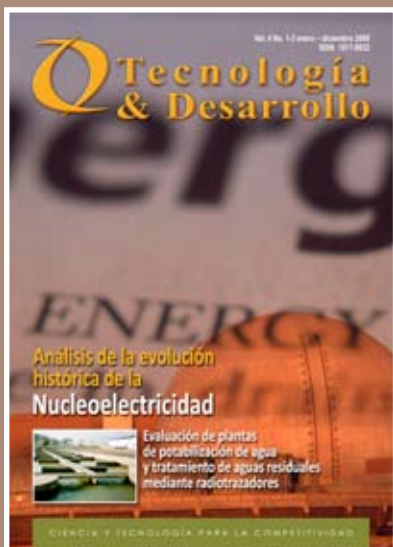


Q Tecnología & Desarrollo

Análisis de la evolución histórica de la Nucleoelectricidad



**Evaluación de plantas
de potabilización de agua
y tratamiento de aguas residuales
mediante radiotrazadores**



Tecnología & Desarrollo

Revista de Ciencia y Tecnología

“Ciencia y tecnología para la competitividad”

Vol. 4 No. 1-3 ene-dic 2008

Comité Editor

Presidente

Edgar Medina Flores

Miembros

Mario Mallaupoma Gutiérrez

Antonio Prado Cuba

Juan Rodríguez Rodríguez

Marco Espinoza Zevallos

Carlos Sebastián Calvo

Diseño Gráfico

Oficina de Relaciones Públicas - IPEN

Instituto Peruano de Energía Nuclear

Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Telf. 2260038, 2260030 anexo 130

E-mail: postmaster@ipen.gob.pe

Homepage: www.ipen.gob.pe

Los contenidos de los artículos firmados son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

Se autoriza a reproducir el material de esta edición citando como fuente la revista Tecnología & Desarrollo.

Indice

Editorial

Agroindustria

Impulsando la agroexportación con el apoyo de la tecnología de irradiación

Investigación

Análisis por activación neutrónica de gammas inmediatos para mejorar la exploración minera

Energía

Análisis de la evolución histórica de la nucleoelectricidad

Minería

Demanda y potencial uranífero del Perú

Salud

Aplicación de radiación gamma para la obtención de nuevos biomateriales para el tratamiento de heridas

Radioactividad

Radón y radiación natural en la tierra

Tecnología

Evaluación de plantas de potabilización de agua y tratamiento de aguas residuales mediante radioisótopos



Editorial

Con el mismo entusiasmo y espíritu participativo de seguir promoviendo un Perú competitivo, en esta edición presentamos diversos temas sobre aplicaciones de la tecnología nuclear y su aporte a los sectores productivos.

La producción de la energía eléctrica es una de las más importantes aplicaciones de la energía nuclear. En esta oportunidad incluimos un artículo sobre su evolución a través del tiempo tanto en la región de América Latina como a nivel mundial. El uranio es un elemento fundamental para ser utilizado como combustible en los reactores nucleares, por esta razón, también presentamos un artículo sobre la existencia de este mineral en nuestro país y la identificación de los lugares con mayor favorabilidad para su explotación, teniendo en cuenta sus características metalogénicas.

Donde hay uranio hay radón por lo que este radioisótopo se encuentra en forma natural en todas las cosas que nos rodea. La mayor contribución de la dosis de radiación que recibimos todos los seres humanos, en forma natural, se debe al radón. Por ello se analiza su presencia en el ambiente.

Dos sectores importantes en el desarrollo de nuestro país son la agroexportación y la minería. Se muestra como el uso de la tecnología nuclear permite mejorar la calidad de los productos agroexportables, cuidando la salud humana y preservando el medio ambiente. En el caso de la minería, se muestra cómo la técnica de análisis por activación neutrónica de gammas inmediatos, permite mejorar el proceso de la exploración, optimizando de esa manera los procesos de producción. En el campo de la biomedicina se muestra la aplicación de la radiación gamma para la obtención de nuevos biomateriales para el tratamiento de heridas. También se presenta un artículo sobre como optimizar las operaciones de producción en las distintas unidades de tratamiento de agua, haciendo uso de radiotrazadores.

Agradecemos a las instituciones y profesionales que colaboran con nuestra publicación y que nos permiten seguir manteniendo nuestra comunicación con ustedes.



Impulsando la agroexportación con el apoyo de la tecnología de irradiación

Johnny Vargas R. - Instituto Peruano de Energía Nuclear,

El Perú es uno de los países con mayor diversidad biológica y de ecosistemas, tiene muchas especies nativas de importancia comercial, destacándose en la Sierra la quinua (*Chenopodium quinoa*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*), maca (*Lepidium melleni*), yacón (*Smallanthus sonchifolus*), papa, (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*), lúcuma (*Lucuma obovata*), páprika (*Capsicum annuum*), achiote (*Bixa orellana*), cúrcuma (*Curcuma longa*), tara (*Caesalpinia spinosa*), tuna (*Dactylopius coccus*) hábitat de la cochinilla de donde se extrae el carmín, sauco (*Sambucus peruviana*), granada (*Punica granatum*), tumbo (*Passiflora mollisima*), olluco (*Ullucus tuberosum*), camote (*Ipomoea batatas*), oca (*Oxalis tuberosa*), aguaymanto (*Physalis peruviana*), etc. además de plantas medicinales, hierbas aromáticas y especias. En la Selva, tenemos la uña de gato (*Uncaria tomentosa*), sangre de grado (*Croton draconoides*), sach

(*Plukenetia volubilis*), camu-camu (*Myrciaria dubia*), cocona (*Solanum sessiliflorum*), huitón (*Genipa americana*), etc.

Igualmente, los productos foráneos debido a las condiciones de suelo, clima y a la tecnificación han logrado altos rendimientos, gozando de las preferencias en otras latitudes, ya sea por su sabor, aroma, color, textura o tamaño, como es el caso de las alcachofas, espárragos, mangos, uvas, plátanos, etc.

La tecnología de irradiación aplicada a la Agricultura y Alimentación ha demostrado ser muy útil para:

- a) La descontaminación microbiana, garantizando alimentos inocuos en vegetales, aves, carnes, productos marinos frescos o congelados.
- b) La inhibición de la germinación o salida

de brotes en los tubérculos y bulbos prolongando de esta manera su vida útil.

- c) El retardo de la maduración y senescencia en las frutas y hortalizas.
- d) La eliminación de los hongos causantes de la pudrición o deterioro de frutas y hortalizas posterior a la cosecha.
- e) La eliminación de parásitos patógenos como el cisticerco.
- f) La eliminación de insectos en cualquier fase o estadio evolutivo (huevo, larva, pupa, insecto adulto) de los granos, cereales, menestras, frutos secos, harinas y otros.
- g) Las cuarentenas para evitar problemas fitosanitarios, reemplazando fumigantes perjudiciales para la salud y el ambiente.
- h) La erradicación de plagas, mediante la técnica del insecto estéril (TIE) o control autocida.
- i) La producción de mutaciones inducidas por radiación gamma en semillas para la obtención de variedades mejoradas de plantas comerciales.
- j) La inhibición de la germinación en semillas nativas exportables para evitar su reproducción en los países importadores, protegiendo nuestra biodiversidad genética.
- k) Mejorar las propiedades tecnológicas; por ejemplo, mayor jugo para uvas y berries.

La inhibición de la germinación o salida de brotes en los tubérculos y bulbos

Aumenta el período de conservación de tubérculos y bulbos; reduce pérdidas por germinación. Nuestras papas nativas están siendo solicitadas por la Comunidad Económica Europea y Asia Pacífico, el

Figura 1: Papa Perricholi 9 meses de almacenamiento al ambiente Control e Irradiadas



problema de estas variedades es su alta precocidad en la germinación por lo que la tecnología irradiación sería una alternativa en el control de la germinación y poder alcanzar mercados tan distantes o lejanos.

Seguridad alimentaria

Actualmente, el mundo globalizado exige calidad e inocuidad en los alimentos, objetivo difícil de conseguir en algunos procesos de la industria alimentaria (Vargas y col. 2006). Ante esta exigencia, la calidad de los productos peruanos puede verse afectada por el medio ambiente, las técnicas de cultivo, los métodos de recolección o cosecha, el transporte, las prácticas de almacenamiento, etc., dificultando su ingreso al exigente mercado internacional.

Muchos productos agroexportables peruanos, muestran un alto nivel de contaminación y no cumplen con las especificaciones microbiológicas exigidas por los países importadores. Esto se debe a que no se aplican las buenas prácticas agrícolas y de recolección (BPAR), y durante su proceso, no se cumplen con las buenas prácticas de manufactura (BPM), plan HACCP (ISO 22000). Por ejemplo, se ha llegado encontrar poblaciones microbianas de aerobios mesófilos en el orden de 10⁸ UFC/g (unidades formadoras de colonias por gramo) en productos procesados deshidratados, siendo los valores para las especificaciones más exigentes entre 10³ y 10² UFC/g.

El proceso de secado disminuye la contaminación de microorganismos, las operaciones posteriores de molido, mezcla, envasado, almacenamiento, tipo de producto y humedad, aumentan nuevamente la población de microorganismos. Si el producto es procesado adecuadamente con tecnología convencional, las poblaciones de microorganismos aerobios mesófilos y hongos pueden reducirse significativamente, pero siempre existe el riesgo ya sea por la manipulación, los instrumentos, los equipos o el ambiente de que se produzca la contaminación por microorganismos patógenos como *Staphylococcus aureus*, *Salmonella sp*, *Escherichia coli*, etc., en cantidades mínimas pero lo suficiente como para ser rechazados por el exigente mercado internacional.

La tecnología de irradiación es un proceso físico que se lleva a cabo en una

instalación especial, donde generalmente se utiliza una fuente de Cobalto-60 que emite rayos gamma, que son radiaciones electromagnéticas de la misma familia o naturaleza de la luz visible, rayos x, ondas de telecomunicaciones, microondas, etc. Además, la radiación gamma es un proceso en frío, que no eleva la temperatura del producto y no deja residuos ni afecta las características físico-químicas, nutritivas y sensorial de los productos irradiados, por lo que es un proceso inocuo. Una de las ventajas o características de la tecnología de irradiación de alimentos es su penetrabilidad, pudiendo procesarse los productos en sus envases finales y empacados en grandes volúmenes, garantizando su inocuidad.

El Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) ha realizado trabajos de investigación y servicios relacionados con la irradiación de productos alimenticios; acrecentado su calidad de exportación; por ejemplo, en maca (harina micropulverizada, en extracto y gelatinizada), yacón (hoja micropulverizada, raíz micropulverizada y en hojuelas), ajonjolí, colorantes naturales como el carmín, extracto de maíz morado, azafrán, achiote, cúrcuma, páprika, orégano, otras especias y condimentos. Igualmente, en plantas medicinales como el sen, la uña de gato, la sangre de grado, el camu-camu deshidratado, hierbas aromáticas, etc. Hemos determinado que dosis de 5 a 10 kGy son recomendadas para el tratamiento de estos productos, garantizando su eficacia.

Inhibición de la germinación en semillas de exportación



Figura 2: Equipo Gammacell 220 Excel utilizado para los protocolos de dosis.

Es una innovación de las aplicaciones de la tecnología de irradiación, desarrollada y aplicada únicamente por nuestro país, debido a la necesidad de proteger nuestros recursos genéticos ante la biopiratería, procesando principalmente semillas oriundas de la sierra y selva peruana con la finalidad de inhibir su germinación para evitar su reproducción y explotación en los países destinatarios de las

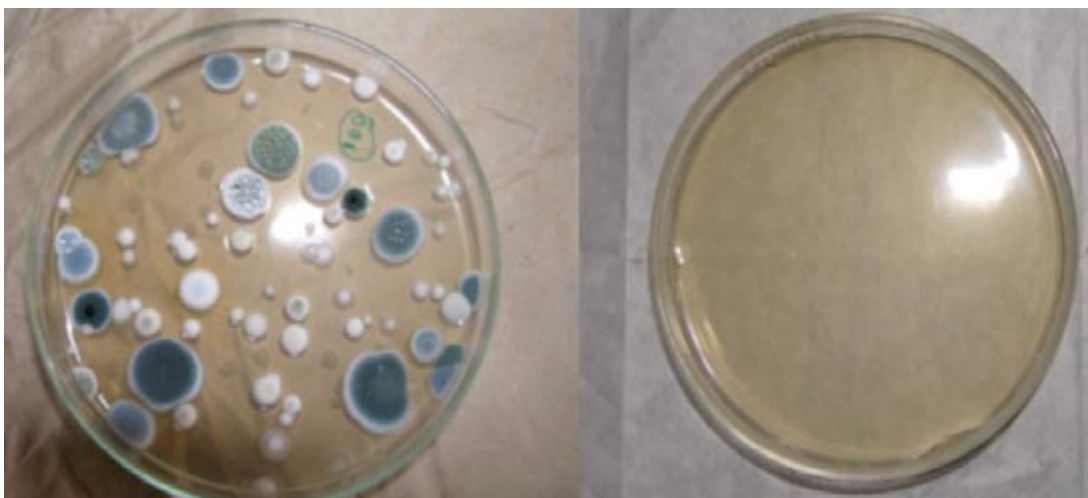


Figura 3: Hongos crecidos en un producto natural en polvo antes del tratamiento con radiaciones gamma (izquierda) y después de la irradiación (derecha)



Figura 4: Eliminación de insectos por radiación en maíz amiláceo al año de almacenamiento.

exportaciones. Entre las semillas procesadas con la radiación gamma, tenemos la semilla de sachu inchi (aceites omega-proteínas), molle (usadas en perfumería), maíz gigante blanco Urubamba, (para alimentación), huito (colorante), boliche (higiene personal y detergente), semillas de mucuna y huayruro (ornamentos).

Obtención de nuevas variedades mejoradas inducidas por radiación

Según Slavko Borojevic la aparición de mutaciones espontáneas es de alrededor de 1 en un millón; sin embargo, la tasa de aparición de mutaciones inducidas puede incrementarse hasta 1 en 100. En el Perú, con la tecnología de irradiación para inducción de mutaciones se ha logrado obtener variedades mejoradas en cebada y kiwicha por el Programa de Cereales de la Universidad Nacional Agraria. Actualmente, se está aplicando la irradiación para obtener variedades mejoradas en quinua y arroz, incursionado en estas investigaciones, el sector privado. También se ha tenido avances exitosos en algodón y flores, por lo que la tecnología en este campo podría ser una alternativa para acrecentar la calidad de los productos agroexportables. Además se han realizado trabajos en otros productos

como trigo, ajos, tarwi, frijol, etc.

Según el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) el porcentaje de arrozales dedicados a variedades producidas con ayuda de la irradiación en 1998 fue de al menos 28% en Tailandia, 19% en Lao y 14% en Vietnam. Mientras que en Japón, los investigadores estiman que las variedades vegetales producidas mediante mutaciones inducidas por radiaciones tienen una participación en el mercado de 804 millones de dólares según se informó en el Journal of Nuclear Science and Technology (Octubre 2002).

En Pakistán, el 25% de la plantación de la zona aldononera está constituida por un cultivar de mutantes de alto rendimiento inducidos mediante el uso de rayos gamma. Se estima que ese cultivar ha aportado más de 3000 millones de dólares en producción aldononera (OIEA, 2003).

Dosis menores a 0.5 kGy son ideales para conseguir estos efectos como por ejemplo mayor rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, mayor precocidad, resistencia a las heladas, resistencia a la salinidad, mayor finura del hilo del algodón y pétalos más grandes o mejor color en flores.

Lucha contra las plagas

Usando radiaciones se pueden eliminar diversos insectos como moscas, gorgojos y polillas en cualquier fase o estadio (huevo, larva, pupa o insecto adulto) en granos, cereales, harinas, hierbas aromáticas, frutas y frutos secos, otros productos de almacenamiento o exportables en bodegas de barcos.

Tratamiento cuarentenario

El comercio internacional de productos agrícolas obliga al uso de tratamientos cuarentenarios para evitar el ingreso de plagas foráneas, práctica que es demandada por los países importadores como EE.UU. y Japón, dos de los países, que importan más frutas y vegetales.

¹El Profesor Slavko Borojevic trabaja en la cátedra de Genética y Propagación de Plantas de la Universidad de Novi Sad, la segunda más grande de la República de Serbia y es famoso por haber producido, por mutaciones genéticas, importantes variedades de trigo como la variedad SAVA, la segunda mejor del mundo con un rendimiento de hasta 10.9t/ha (1976).

²Crop Variety Improvement and Its Effect on Productivity (2003).

Productos peruanos como mangos y espárragos, antes de ingresar al mercado de USA, son obligados al tratamiento fitosanitario cuarentenario, como el hidrotérmico y la fumigación con Bromuro de Metilo (BrM). El tratamiento hidrotérmico se realiza en Piura para los mangos de exportación. Este tratamiento con agua caliente demanda mayor costo, consumo de combustibles fósiles, contaminación ambiental, mantenimiento y puede alterar las características físico-químicas, nutricionales y la calidad sensorial del mango. Para el caso del espárrago peruano el tratamiento cuarentenario es la fumigación con BrM, para el control de la polilla (*Copitarsia decolora*). Este fumigante reemplazó al dibromuro de etileno, prohibido en los Estados Unidos desde 1984.

El Bromuro de Metilo es perjudicial para la salud y es 50 veces más destructor de la capa de ozono que los clorofluorocarbonos. Los 183 países suscriptores del Protocolo de Montreal (1997) acordaron ir reduciendo progresivamente el uso del BrM, hasta su prohibición total en el 2005. En la décima sexta reunión de las Partes del Protocolo de Montreal sobre las sustancias que agotan la capa de ozono que se realizó en Praga en Noviembre del 2004, se acordó que 11 naciones desarrolladas, incluyendo Estados Unidos, podrán seguir utilizando el BrM, puesto que no existen alternativas que sean económicamente factibles. Por consiguiente, se ha aplazado la fecha límite para la eliminación total del BrM debido a que no se han encontrado alternativas útiles con las características que se necesitan (Mejía, 2005).

En el Perú se han realizado trabajos de investigación utilizando la tecnología de irradiación, como alternativa cuarentenaria contra las plagas reemplazando tratamientos costosos que alteran las características intrínsecas del producto o fumigantes perjudiciales para la salud y el medio ambiente, casos concretos son los mangos (contra la mosca *Ceratitis capitata*) y espárragos (contra la polilla *Copitarsia decolora*), con la aprobación del Servicio de Inspección y Salubridad de Plantas y Animales (APHIS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

Debido a esta perspectiva, la tecnología

de irradiación surge como una alternativa viable, como tratamiento cuarentenario y posicionarse como una medida fitosanitaria para frutas y hortalizas de exportación, en reemplazo de los métodos convencionales que utilizan fumigantes nocivos para la salud y el medio ambiente.

Erradicación de plagas

La técnica del insecto estéril o control autocida consiste en traer del campo al laboratorio a una plaga, reproducirla en grandes cantidades, esterizarlas mediante radiación gamma para que no se puedan reproducir, enviarlas de vuelta al campo y liberarlas en forma masiva, con la finalidad de que se crucen con las moscas nativas; de tal manera, cuando se de mayor cruzamiento entre ambas, se obtenga como resultado una menor reproducción.

Esta técnica se ha usado exitosamente para erradicar plagas en países como Estados Unidos, México, Chile, Argentina y el Perú.

En nuestro país, el Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Ministerio de Agricultura (SENASA), mediante Resolución Directoral N° 51-2007-AG-SENASA-DSV, de fecha 26 de diciembre de 2007, declaró como áreas libres de moscas de la fruta (*Ceratitis capitata* y *Anastrepha* spp.) a las regiones de Tacna y Moquegua fundamentado en el expediente técnico correspondiente, y notificado a las Organizaciones Nacionales de Protección Fitosanitaria a través de la Organización Mundial de Comercio (OMC) y de la Secretaria General de la Comunidad. El objetivo es emplear la tecnología de irradiación para la erradicación de ésta y otras plagas, en toda la costa peruana con la finalidad de hacer factible la exportación de más de una veintena de especies vegetales con restricciones fitosanitarias.

Normas

En los Estados Unidos, la FDA aprobó por primera vez la irradiación de alimentos para las especias y condimentos en 1963. La FDA aprobó la irradiación de alimentos en diciembre de 1997 para carne vacuna, porcina y de carnero. En febrero de 2000,

³La técnica del insecto estéril fue ideada por los entomólogos Edward F. Knipling (1909 – 2000) y Raymond C. Bushland, para el control de especies de insectos con reproducción sexual aportando una línea novedosa en la protección contra plagas. Se basa, no en incrementar la tasa de mortalidad de la plaga sino en reducir su tasa de natalidad.

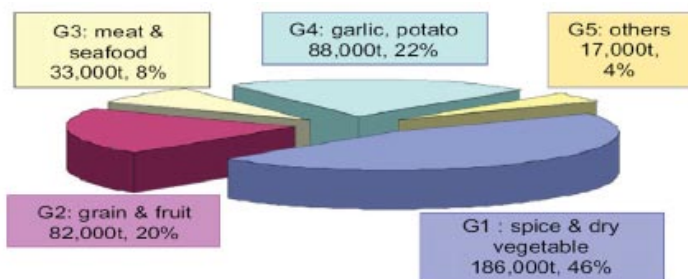


Figura 5: Irradiación de alimentos en el mundo el 2005 (T. Kume)

el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos completó las pautas para el uso de la irradiación en los productos cárnicos y de aves. En julio de 2000, la FDA y el Departamento de Agricultura aprobaron el uso de la irradiación en los huevos con cáscara.

El 22 de Agosto de 2008 la FDA autorizó la irradiación de lechugas y espinacas frescas, con la finalidad de proteger a los consumidores de microorganismos patógenos que causaron algunas muertes en niños y adultos mayores. Además, el USDA publicó (1996) su política de aceptación de la irradiación como tratamiento de cuarentena para las frutas, contra las moscas de la fruta procedentes de Hawaii incluyendo papaya. Actualmente, los Estados Unidos importan frutas irradiadas como medida fitosanitaria; por ejemplo, mangos Alphonso irradiados de la India.

En el Perú está autorizado la irradiación de alimentos, se han elaborado 9 Normas Técnicas Nacionales (NTP), basadas en las Normas Internacionales y el Codex Alimentarius. Estas normas están referidas a las buenas prácticas de irradiación para los diferentes productos que se procesan. La última norma publicada es la NTP 209.508:2008: Código de buenas prácticas de irradiación para el control de patógenos y/o prolongar la vida útil de carnes de aves y carnes empacadas.

Además la tecnología de irradiación de alimentos tiene el soporte del Organismo Mundial de Salud (OMS), el Organismo de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA – APHIS), la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA), etc.

Alimentos que más se procesan

En el Perú, los productos que más se procesan son las hierbas aromáticas, plantas medicinales deshidratadas, especias, algunos productos marinos, etc. siguiendo la tendencia mundial.

Infraestructura

Nuestro país cuenta con 2 plantas de irradiación, la Planta de Irradiación tipo IV Multiuso de Santa Anita (PIMU) y la planta Gammabeam 127 tipo II del SENASA, ambas con actividades menores a los 20 000 Curie (Ci), en comparación con plantas de irradiación de México, Brasil, Argentina y Chile que constantemente poseen cargas entre 500 000 a 1 000 000 Ci.

Además, el IPEN cuenta con un equipo de irradiación Tipo I, el Gammacell 220 Excel con una actividad actual de 11 000 Ci, donde se realizan diversas investigaciones, servicios de irradiación a pequeña escala y sirve también para las calibraciones dosimétricas de las plantas y equipos de irradiación en el Perú.

Beneficios para la agroexportación

- La radiación gamma garantiza la inocuidad y la conservación de los productos agroexportables permitiendo su llegada a mercados distantes.
- La radiación gamma es una alternativa, como tratamiento cuarentenario en el Perú para la exportación de frutas y hortalizas.
- La Tecnología de Irradiación de alimentos, permitirá ampliar y mejorar el acceso de los productos peruanos al exigente mercado internacional.
- La Tecnología de Irradiación de alimentos, podrá contribuir con el éxito del Plan Nacional Sierra Exportadora y con las exportaciones en el marco de los tratados de libre comercio que firme nuestro país. (USA, China).
- Con el uso de la Tecnología de Irradiación lograremos acrecentar la calidad de los productos exportables, protegiendo la salud y preservando el medio ambiente.



Análisis por Activación Neutrónica de Gammas Inmediatos para mejorar la exploración minera

José Solís, Marco Munive / Instituto Peruano de Energía Nuclear

En la industria minera la actividad de exploración implica mucho riesgo y una gran inversión. Una parte importante de esta situación se da durante la determinación de la ley del mineral, donde tradicionalmente se realiza mediante los sondeos mecánicos que consiste en coleccionar muestras del subsuelo a diferentes profundidades. Sin embargo, su principal problema es la representatividad; por ejemplo, en el mejor de los casos en un sondeo diamantino con recuperación de testigo continuo (cilindro de roca de algunos centímetros de diámetro), puede haber pérdidas durante la perforación o la extracción. Posteriormente, estas muestras son enviadas al laboratorio para realizar los análisis respectivos usando técnicas analíticas como Fluorescencia de Rayos X, Absorción Atómica, etc. Estas pruebas toman mucho tiempo y puede producirse errores en los resultados como consecuencia de la manipulación de las muestras, debido a que la masa analiza-

da es de sólo algunos gramos. En este caso, el muestreo es una etapa muy importante para lograr resultados analíticos representativos. Esta es la información más valiosa que se dispone sobre la mineralización, mientras no se llegue hasta ella mediante labores mineras y permitirá tomar decisiones acerca de las acciones futuras como cerrar una mina o explotarla, lo cual involucra una gran inversión económica.

Actualmente, están disponibles algunas técnicas sumamente útiles para analizar las perforaciones en la etapa de exploración, como el Análisis por Activación Neutrónica de Gammas Inmediatos (Prompt Gamma Neutron Analysis Activation, PGNA) que puede proporcionar una información cuantitativa "in-situ" sobre la ley de algunos minerales (cobre, hierro, carbón, calcio, silicio, zinc, níquel, etc.) en tiempo real. Esta técnica aparte de su capacidad de entregar datos instantá-

neamente, también tiene la ventaja de utilizar una radiación altamente penetrante, lo cual le permite analizar mayores volúmenes de muestra, dando una medida más representativa. Una vez calibrado, el sistema reporta una información detallada del grado del mineral de interés (cobre, carbón, hierro, calcio, silicio, etc.) en función a la profundidad de la perforación, información que no es posible obtener mediante el análisis convencional de las perforaciones. Esta comunicación ayuda a tener una mejor idea de cómo está distribuida la beta del mineral y mejorar la planificación de minado de la misma.

¿Qué es el PGNAA?

Es un método nuclear no destructivo de análisis elemental. Para este análisis el material se expone a un flujo de neutrones que tienen una gran penetración en el material, debido a que carecen de carga eléctrica no sufren la acción de campos eléctricos ni magnéticos. Cuando un neutrón choca con el núcleo de un átomo le cede parte de su energía mediante un choque elástico (se conserva la energía del sistema) o inelástico (la energía del sistema se convierte en excitación interna del núcleo). Para la aplicación en línea o en el campo se utiliza una fuente radioactiva como el Cf252. Los neutrones rápidos emitidos por la fuente radioactiva son frenados

por los múltiples choques elásticos en un material hasta alcanzar una energía de 0.025 eV, estos neutrones son conocidos como neutrones térmicos. Una interacción inelástica de los neutrones térmicos con los núcleos se produce cuando el neutrón es absorbido produciendo un isótopo diferente, conocido como captura neutrónica. El núcleo excitado emite una radiación gamma específica de alta energía y depende del tipo de reacción nuclear. Si la intensidad y energía se mide, se puede determinar el elemento y la cantidad de la misma presente en la muestra. Los rayos gamma emitidos pueden ser clasificados como inmediatos o retardados provenientes del decaimiento de la radioactividad inducida según su vida media. La radiación gamma inmediata tiene una vida media aproximada de 10–13 s, mientras que la radiación gamma retardada se produce por el decaimiento radiactivo del isótopo excitado con un periodo de semidensintegración de segundos y horas, dependiendo del elemento.

El análisis PGNAA es de respuesta rápida debido a que detecta los rayos gammas inmediatos. Su ventaja principal es lograr identificar simultáneamente varios de los elementos presentes en una muestra. Es un método no-destructivo de análisis que presenta una baja radioactividad inducida residual y es flexible a los requerimientos de las muestras; es decir, la forma química y la geometría de

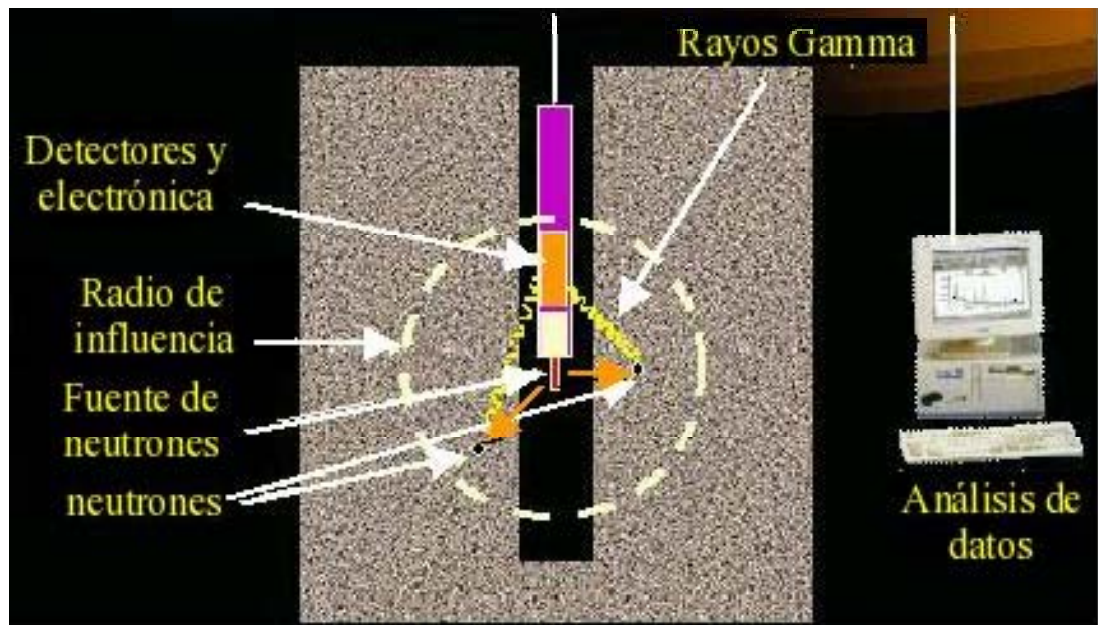


Figura 1. Esquema del sistema de análisis por activación neutrónica de gammas inmediatos SIROLOG.

¹ J. Charbucinski, J. Malos, A. Rojc, and C. Smith, Applied Radiation and Isotopes, 59, 197–203 (2003), J. Charbucinski and W. Nichols, Applied Energy, 74, 313–322 (2003).

la muestra son relativamente irrelevantes. Por esa razón, esta técnica ha encontrado aplicaciones en sistemas de medida en línea y en el campo; por ejemplo, para la exploración en la industria minera, la determinación de calidad de la materia prima en la industria cementera, aplicaciones médicas, etc.

Este sistema se ha usado ampliamente en minas de carbón para estimar su calidad, donde ha tenido gran éxito reduciendo los costos de la exploración. Últimamente se está usando para minas de cobre, hierro y zinc con excelentes resultados .

Como los neutrones térmicos tienen una penetración de 0.4 m en el material, este método analiza un gran volumen del mineral y provee un análisis en tiempo real, lo cual es particularmente útil para la caracterización de perforaciones de exploración. El sistema PGNAA puede dar resultados in situ de la concentración de determinados elementos de interés y el perfil del mismo a lo largo de la perforación de exploración o voladura.

El sistema SIROLOG y su uso

El sistema SIROLOG desarrollado en el CSIRO (Commonwealth Scientific and Research Organization) de Australia y obtenido por el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)

a través de la OIEA (Organización Internacional de Energía Atómica), consta básicamente de una sonda de medida, un cable de acero inoxidable conectado a un sistema motorizado para introducir y retirar la sonda de una perforación. Todo el sistema es controlado por una computadora portátil. La Figura 1 muestra el esquema del sistema SIROLOG. El radio de acción de los neutrones térmicos es de 0.4 m.

La sonda de medida es de 70 mm de diámetro y 1.5 m de longitud y consta de una fuente de neutrones de Cf^{252} de 140 MBq, un cristal $Bi_4Ge_3O_{12}$ (BGO) como detector de rayos gamma junto a un fotomultiplicador y el blindaje respectivo. La electrónica necesaria para la medida espectral de la radiación gamma esta dentro de la sonda.

El sistema esta basado en la tecnología de cable simple que usa un cable conductor (450 m) para la comunicación y alimentación de la sonda. Todo el sistema funciona con una batería de 12 V, el sistema de polea introduce y retira la sonda dentro de la perforación y mide la profundidad por medio de un decodificador óptico. La señal llega a una interfaz que esta conectada a una computadora portátil. Antes de la medición se introduce la sonda en la perforación hasta el fondo, y para realizar la medición, se extrae la sonda y se



Figura 2. Todos los componentes del sistema SIROLOG.



Figura 3. Sistema de caracterización estática

obtiene un espectro acumulado para cada intervalo de 10 cm. La velocidad de muestreo es de 2 m/minuto. Todo el sistema se puede transportar usando una camioneta y monitorear las perforaciones en el campo pues el sistema opera con la energía de una batería (Figura 2).

Pruebas de campo

La medida en línea de la concentración de insumos (SiO_2 , Al_2O_3 , SO_3 , Fe_2O_3 , y CaO)



Figura 4. Instalación de sistema SIROLOG para la medida por PGNAA en una perforación de voladura en la cantera de Atocongo, Cementos Lima S.A.

en algunas fábricas cementeras se pueden realizar usando la técnica PGNAA, debido a que la mayoría de los elementos de interés tiene una sección eficaz de captura neutrónica apreciable; sin embargo, no se utiliza frecuentemente para la caracterización de la cantera a pesar que esto reduciría los costos de producción y mejoraría la programación del minado de la cantera. Desde noviembre de 2007 con el apoyo de la División de Control de Calidad de Cementos Lima S.A. se han realizado una serie de medidas con el sistema PGNAA de perforaciones de voladura en la cantera de Atocongo. Se han analizado la mayoría de los elementos constituyentes de la caliza como el CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 y SO_3 .

Para este estudio, en primer lugar se realizaron pruebas para determinar la posibilidad de la aplicación del método PGNAA para la caracterización de la caliza de las perforaciones de voladura. Estas pruebas se llevaron a cabo en un contenedor donde se simulaban 5 modelos geofísicos (Figura 3) con contenido de diferentes grados de caliza. El contenedor de la muestra se diseñó de tal manera que sea semejante a la geometría de una perforación. El recipiente contenía 800 kg de caliza de una concentración uniforme. En este caso se obtuvieron buenos resultados, lográndose identificar muestras de diferente grado de caliza. Los espectros obtenidos por la sonda fueron lo suficientemente diferentes, con respecto al grado de caliza, lo cual garantizó hacer pruebas de campo en las perforaciones de voladura de la cantera de Atocongo.

En la Figura 4 se muestra el sistema SIROLOG en la cantera de Atocongo de Cementos Lima S.A. Para realizar las medidas de campo se introduce la sonda en la perforación de voladura y al retirar la sonda se obtiene un espectro gamma por cada 10 cm, brindándonos una información semicuantitativa del elemento de interés a lo largo de la perforación. Se realizaron medidas con el sistema PGNAA en 31 perforaciones de voladura y fueron seleccionadas para proveer un amplio rango de grado de caliza para realizar la calibración del sistema. Usando el procedimiento de rutina de muestreo de los dentritos de la perforación, se realizaron los análisis por Fluorescencia de Rayos X (FRX) de los mismos en el Laboratorio de Control de Calidad de Cementos Lima S.A. Toda la perforación (13 m) fue analizada con la sonda y se recolectó los datos con un intervalo de 10 cm con una velocidad de 2 m/minuto para tener una buena estadística.

Tabla 1. Composición química de las perforaciones 204 y 612 obtenidas por FRX y PGNAA.

Perforación	% CaO	%SiO ₂	% Fe ₂ O ₃	%SO ₃	%Al ₂ O ₃
204 FRX	46.3	8.46	1.3	0.72	3.51
204 PGNAA	45.0	10.00	2.0	0.56	4.33
612 FRX	28.0	31.0	6.3	1.86	15.2
612 PGNAA	28.2	30.3	5.4	1.91	14.7

En la Tabla 1 se tiene la composición química de las perforaciones 204 y 612. Para la caracterización por FRX se tomó una muestra representativa del material extraído de la perforación (dentrito), mientras que para PGNAA se ha realizado una integración de todos los espectros obtenidos en una perforación. En las Figuras 5 y 6 se muestran los perfiles de las perforaciones de voladura 204 y 612 obtenidos por PGNAA para el CaO, Fe₂O₃, SiO₂ y SO₃. Se puede observar que cuando el perfil de la concentración obtenida por PGNAA es heterogénea los resultados comparativos pueden tener discrepancia como en el caso de la perforación 204, y cuando el perfil es homogéneo (perforación 612) la correlación de los resultados entre ambas técnicas es bastante bueno y las diferencias son mínimas.

De lo expuesto se puede determinar que la técnica PGNAA nos permite obtener el perfil del mineral de interés en la perforación y su utilidad principal es la caracterización correcta de las perforaciones con concentraciones de mineral heterogéneas. Esta información se obtiene luego de realizar la medida y es sumamente útil para tener una mejor información del grado de caliza y de cómo esta varía en la cantera para realizar las proyecciones de la explotación.

Agradecimientos:

A Cementos Lima S.A., especialmente a los Ingenieros Rubén Gilvonio, César Zanabria y Rafael Medina de la División de Control de Calidad por las facilidades otorgadas para la realización de las medidas de campo y las medidas de FRX de las perforaciones de voladura.

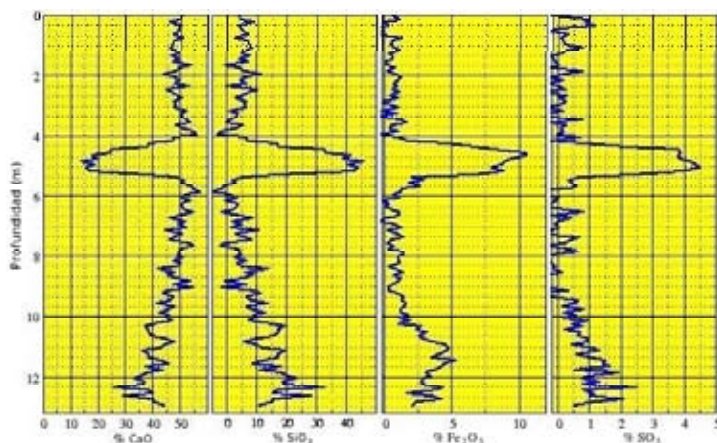


Figura 5. Perfiles de concentraciones de CaO, Fe₂O₃, SiO₂ y SO₃ obtenidos por PGNAA en la perforación de voladura 204 de la cantera de Atocongo.

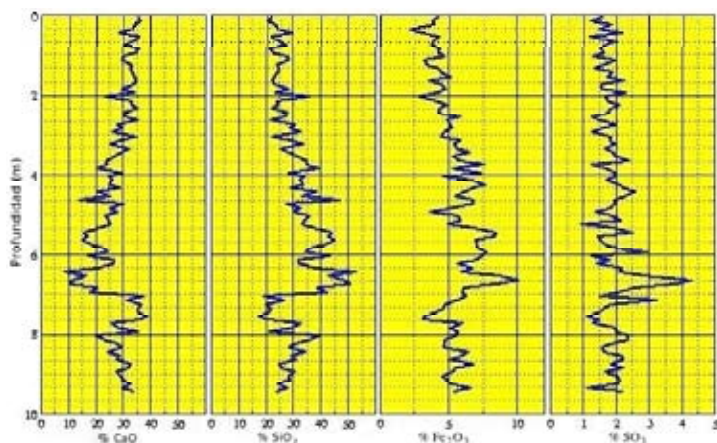
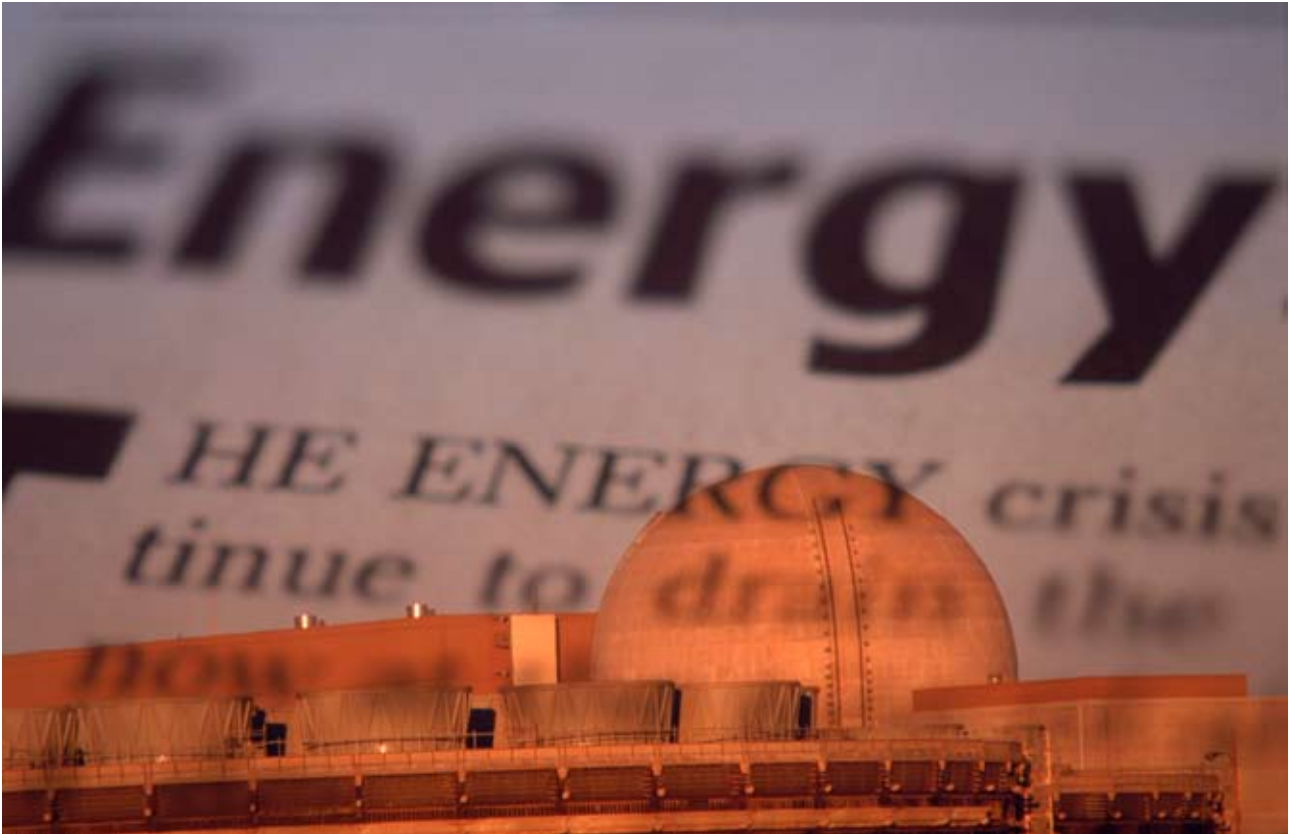


Figura 6. Perfiles de concentraciones de CaO, Fe₂O₃, SiO₂ y SO₃ obtenidos por PGNAA en las perforaciones de voladura 612 de la cantera de Atocongo.



Análisis de la evolución histórica de la nucleoelectricidad

Juan Avila López - Instituto Peruano de Energía Nuclear

El ser humano desde los inicios de su existencia ha tenido necesidad de energía, en ese tránsito, desde el descubrimiento del fuego, empezó a utilizar fuentes primarias de energía de fácil obtención, como la leña. La comodidad que le brindó la energía calórica despertó el interés en el hombre para buscar nuevas fuentes y formas de energía, los mismos que perduran hasta la actualidad y continuará en el futuro.

Los grandes cambios implican nuevas necesidades y desafíos, así la Revolución Industrial en el ámbito energético trajo nuevas demandas de energía; por ejemplo, la máquina de vapor y otros inventos revolucionarios que mejoraron los medios de transporte, como la locomotora de George Stephenson construida en 1825, incrementando la demanda de carbón y decrecimiento de la demanda de leña como se muestra en la figura 1.

Análisis global: 150 Años de Evolución

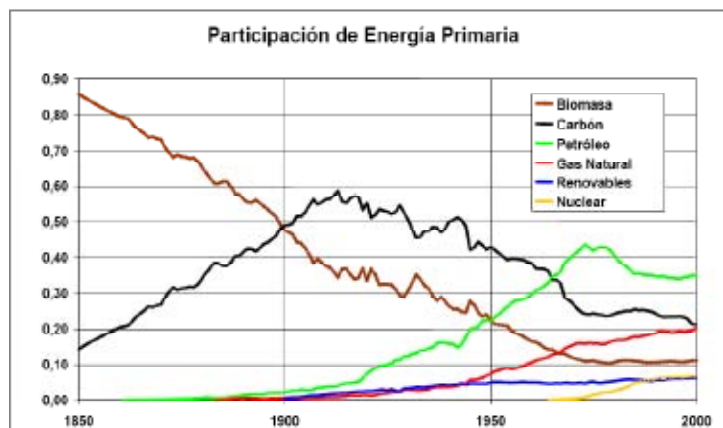


Figura 1: Evolución energética.

Fuente: Curso Virtual Economía de la Energía (OLADE 2008-08-28)

La demanda por el carbón comenzó a declinar con la comercialización del petróleo y sus derivados. Así mismo, la segunda guerra mundial generó grandes demandas de energía, y con el avance de la tecnología se inició la explotación de otras fuentes de energía como se puede observar en la figura 1.

A partir de la elevación de los precios del petróleo en 1973, y por la perspectiva del agotamiento de este recurso se desarrolló de un modo muy dinámico la generación de electricidad utilizando la energía nuclear. En 1980 el crudo se había revalorizado 19 veces en comparación con el precio del año 1970. En consecuencia, desde 1973 el precio del crudo ha ido en constante aumento hasta alcanzar en el año 2008 precios hasta de 147 dólares por barril.

En la actualidad, los recursos energéticos son limitados en unos casos y la tecnología aún no existe para la explotación de otras fuentes energéticas; sin embargo, el crecimiento del desarrollo a nivel global es muy elevado y requiere de enormes cantidades de energía, dando un balance energético de preocupación por el agotamiento de las reservas energéticas. Costos altos de otras y el problema medioambiental de contaminación y calentamiento global de la tierra.

La Nucleoelectricidad en sus inicios

El uso de la energía nuclear para generar electricidad ocurrió el 20 de diciembre de 1951, con los cuatro primeros focos que iluminaron con electricidad producida por el primer reactor nuclear reproductor EBR-1 en Idaho en los EEUU (figura 2).



Figura 2:
Los primeros focos encendidos con electricidad producida por energía nuclear.

El 26 de Junio de 1954 en la ciudad de Obninsk (cercana a Moscú) por primera vez se interconectó una central nuclear "Obnisk Reactor" a una red eléctrica para brindar energía eléctrica a 2000 hogares. El 17 de julio de 1955 en Idaho se iluminó una población de 1000 habitantes con electricidad generada por el reactor nuclear experimental de agua hirviendo BORAX III. El 27 de agosto de 1956, en Inglaterra, se pone en funcionamiento la primera planta nuclear comercial "Calder Hall Unit 1" de 50 MW para generar electricidad e inaugurada por la reina Elizabeth II el 17 de octubre de 1956.

Canadá en 1954 empezó también su programa nuclear con fines de generación eléctrica con la construcción de la central NPD de 22 MWe y su puesta en marcha en 1962 en Rolphton, Ontario.

En 1956 gobierno Francés, dueño de la Electricidad de Francia (EdF) acuerdan construir la primera central nuclear para generar electricidad, 8 años mas tarde en 1964, la primera planta nuclear EDF1 entra en funcionamiento en Chinon a orillas del río Loire.

Situación de América Latina

Argentina

La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) fundada en 1950 es la encargada de desarrollar la tecnología nuclear en la Argentina, en 1974 entró en funcionamiento la central nuclear Atucha 1 y en 1984 la central de Embalse con un reactor tipo CANDU. La tecnología nuclear aporta el 8.6 % de la electricidad total consumida en la Argentina.

Reactor	Modelo	Capacidad MWe	Inicio Func.
Atucha 1	PHWR	335	1974
Embalse	PHWR	600	1984
Total: 2 Reactores		935	

Brasil

Brasil posee dos centrales nucleares que generan el 4 % de la electricidad total producida. La primera central Angra 1 empezó a funcionar en el año 1982 con una capacidad de 626 MWe y la segunda central Angra 2

con una capacidad de 1270 MWe inició su operación en el año 2000.

Reactor	Modelo	Capacidad MWe	Inicio func.
Anga 1	PWR	626	1982
Angra 2	PWR	1270	2000
Total: 2 Reactores			1896

México

México tiene la central nuclear de Laguna Verde con dos unidades que suman una potencia total de 1490 MWe. La primera unidad empezó a funcionar en 1989 y la segunda unidad en el año 1994.

Reactor	Modelo	Capacidad MWe	Inicio func.
Laguna Verde			
Verde 1	BWR	709	1989
Laguna Verde			
Verde 2	BWR	781	1994
Total: 2 Reactores			1490

Evolución Global de la Nucleoelectricidad

En 1970 muchos países firmaron el Tratado de No Proliferación de armas nucleares (TNP), con la finalidad de utilizar la energía nuclear solamente con fines pacíficos. Dentro de ese contexto, muchos países optaron por desarrollar la tecnología nuclear para generar electricidad, recurso energético que creció su demanda a ritmo muy acelerado. En la figura 3, se muestra la evolución de la capacidad y generación para el período 1980 – 2005. La representación muestra un crecimiento sostenido.

Situación actual de la nucleoelectricidad

En la actualidad, hay 439 centrales nucleares en diferentes países del mundo, que en conjunto suman una capacidad total de 373247 MWe. Así mismo, se están construyendo 36 centrales nucleares que totalizaran una capacidad de 29848 MWe; igualmente, se han

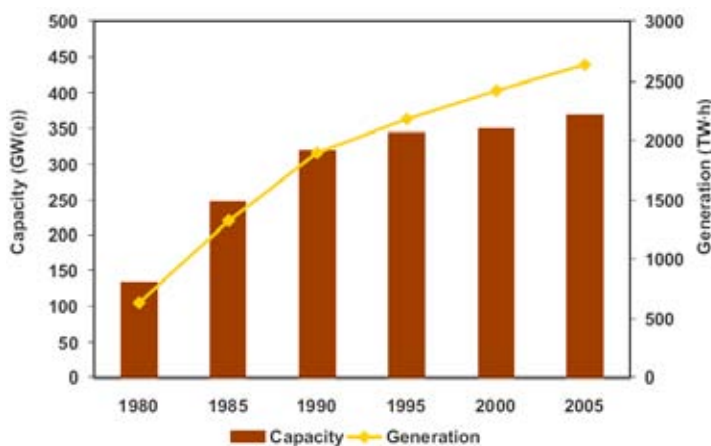


Figura 3: Evolución de la capacidad instalada y generación Mundial de electricidad de origen nuclear .

planificado la construcción de 97 nuevas centrales nucleares con una capacidad total de 105075 MWe; centrales nucleares y propuestos suman 221 con una capacidad total de 198575 MWe . En la figura 4 se muestra el aporte porcentual actual de la generación mundial de electricidad por las principales tecnologías. El aporte de electricidad a nivel mundial de la energía nuclear desde 1990 se ha mantenido en 16 %.

Futuro de la nucleoelectricidad

Para analizar el futuro de la nucleoelectricidad, es absolutamente necesario considerar la situación de los combustibles directores de la energía a nivel mundial, en el sentido que la energía está integrada desde el punto de vista económico, confiabilidad y medioambiental.

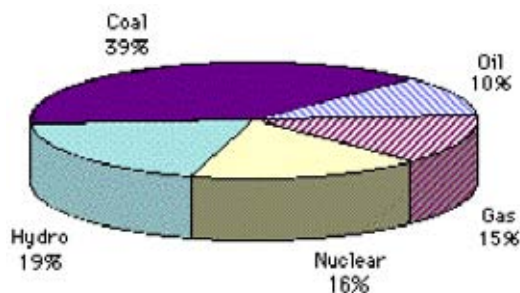


Figura 4: Generación mundial de electricidad en tanto por ciento.

¹Energy, Electricity and Nuclear Power: Developments and Projections: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1304_web.pdf

²World Nuclear Association: <http://www.world-nuclear.org/info/reactors.html>

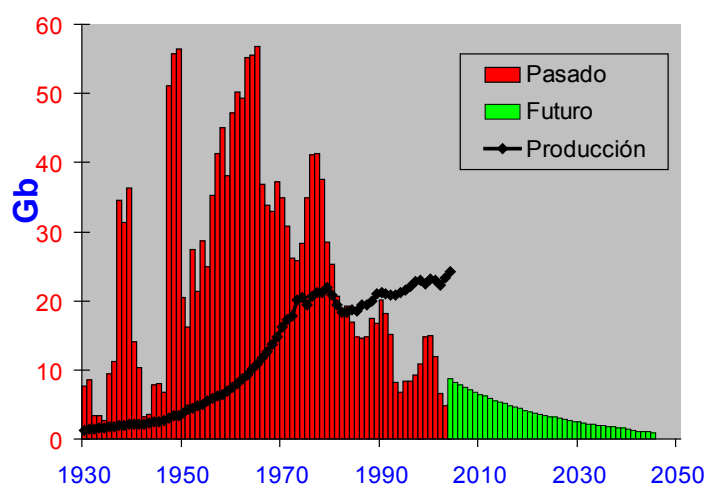


Figura 5: Reservas y producción de petróleo a nivel mundial

Combustibles

Entre los recursos energéticos más importantes a nivel mundial se tiene:

Petróleo: En la figura 5 se muestra la evolución de las reservas de petróleo y su explotación, se observa que la máxima cantidad de reservas está en su máximo valor; por consiguiente, pronto empezarán a disminuir. Sin embargo, la producción continuará en crecimiento por la necesidad de combustible, así como los precios se elevarán por la carencia de combustibles.

Gas natural: Las reservas mundiales de gas natural, aunque limitadas, son muy importantes, para el año 2006 suman un total de 6112 trillones de pies cúbicos (TPC). De acuerdo a las reservas y consumo de gas, se estima que se tienen reservas de gas natural para 67 años. Países que no cuentan con reser-

Año	OECD	No OECD Europe & Asia	No OECD	Total
1990	11.38	4.19	5.65	21.22
2003	13.15	2.73	9.15	25.03
2010	14.25	3.11	13.00	30.36
2015	15.02	3.44	15.20	33.66
2020	15.71	3.76	17.28	36.75
2025	16.55	4.05	19.45	40.05
2030	17.50	4.35	21.83	43.68

Tabla 1: Emisión mundial de CO₂ histórico y proyectado (miles de millones de toneladas).

vas de gas o con reservas pequeñas tendrán que importar y por razones de mercado los precios del gas se incrementarán.

A nivel de Sudamérica, se prevé un escenario con gasoductos cubriendo la región del cono sur, extendiendo el actual gasoducto que enlaza a Bolivia, Argentina Uruguay, Chile y Brasil con otros países como Perú, Chile, Ecuador, Colombia, Venezuela y Panamá, lo cual intensificará el uso del gas en la región.

Carbón mineral: El carbón mineral es uno de los recursos energéticos que posee las mayores reservas a nivel mundial, y lo tienen la mayoría de países. Su desventaja radica en que es un combustible muy contaminante.

Uranio: Canadá es el mayor productor de uranio a nivel mundial con un 28 % seguido por Australia con un 23%. A nivel mundial las reservas probadas son de 4743000 toneladas, que se estima podrían alcanzar para 114 años.

Medio Ambiente

En la actualidad, al enfocar el tema de la energía no puede dejarse de considerar el aspecto medio ambiental, debido al grave problema ya manifestado y verificado en la práctica. En el caso peruano, por ejemplo, los deshielos de nuestras cordilleras es un hecho real y se estima que es a causa del denominado efecto invernadero. A nivel global, los deshielos de los glaciares polares es otro ejemplo real del problema. En la tabla 1 se muestra las emisiones a nivel mundial en miles de millones de toneladas métricas de CO₂ desde 1990 hasta 2003 como histórico y en adelante como proyectado, se observa que en cuatro décadas (1990–2030) se duplicará la emisión de CO₂, es decir se tiene una tasa muy elevada de emisión, por ello es la preocupación mundial del calentamiento global.

En la figura 6 se muestra las emisiones directas e indirectas de CO₂ en la generación de electricidad por las diferentes tecnologías. Se observa que el uso del carbón mineral como combustible, produce el más alto grado de emisión (por cada kWh produce 1 Kg de CO₂), seguido por el gas natural.

La tecnología nuclear no emite CO₂ de allí la calificación de energía limpia, sin embargo se le asigna una determinada cantidad indi-

recta por el uso de otros combustibles en la construcción de la planta.

Nucleoelectricidad

La información científica y técnica internacional muestra que se está ante un nuevo auge del uso de la energía nuclear para la generación de electricidad. Las informaciones de diferente índole desde los económicos hasta los medioambientales sustentan que la nucleoelectricidad es una de las alternativas confiables y capaces de solucionar en gran parte la demanda de energía eléctrica que requiere la humanidad y mejorar la calidad de vida.

Así mismo, la mayoría de los gobiernos que disponen de esta tecnología han actualizado sus planes energéticos con la prioridad de ampliar, mejorar, re-potenciar sus instalaciones nucleares actuales y realizar estudios para nuevas plantas nucleares. Muchos países que no disponen de la tecnología nuclear lo están considerando para incluirlos en sus programas de generación de electricidad.

Los países desarrollados en el ámbito nuclear han conformado el Foro Internacional de IV Generación (GIF), para desarrollar los estudios de diseño de los reactores de IV generación, que presentan entre sus características principales, su alta eficiencia, seguridad y multipropósitos. La tecnología de IV generación debe satisfacer las metas de:

- Aportar al desarrollo sostenible (aire limpio) y proporcionar combustible limpio de uso global (Hidrógeno).
- Debe reducir la generación de desechos radiactivos y eliminarlos por transmutación nuclear.
- En costo de mantener clara ventaja sobre otras tecnologías (más barata).
- Debe tener un riesgo de inversión mínimo.
- Deben ser seguros y confiables.
- Mínima posibilidad de daño del núcleo del reactor.

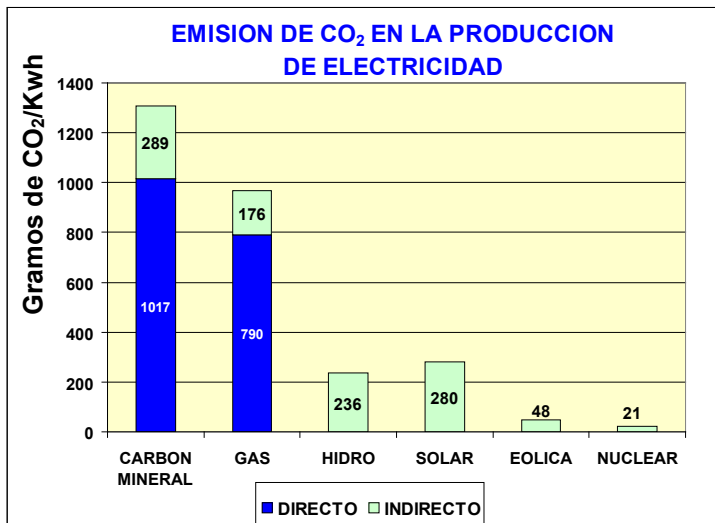


Figura 6: Emisión de CO₂ por diferentes tecnologías.

- No debe necesitar contingencias externas en el aspecto de seguridad.

Escenario peruano

Recursos energéticos

Uranio: En el Perú oficialmente en el Región de Puno, distrito de Macusani se tiene reservas probadas una cantidad de 1790 toneladas al precio de USD80/KgU y 1790 toneladas al precio de USD130/KgU que hacen un total de 3580 toneladas. Asimismo, se tiene reservas estimadas in situ (Macusani) categoría I la cantidad de 1860 toneladas al precio de USD80/KgU y 1860 toneladas al precio de USD130/KgU. Las reservas estimadas en el área de Chapi (categoría II) suman la cantidad de 6610 toneladas al valor de USD80/KgU y 6610 toneladas al valor de USD139/KgU. Las reservas especuladas en el resto del área de Macusani suman una cantidad de 19740 toneladas, así como otras reservas especuladas en concentración 90 ppm de U en depósitos de fosfatos una cantidad comprendida entre 20500 y 25600 toneladas de uranio .

Petróleo: Las reservas de petróleo se calculan en alrededor de 415.8 millones de barriles y la producción es de 60 millones de barriles anuales, con lo cual se tendría petróleo para 7 años más; sin embargo, con las reservas a ser encontradas se estima que al año 2016

⁴ASPO. BOLETÍN N° 67. JULIO 2006

⁵Uranium 2005: Resources, Production and Demand. IAEA. <http://213.253.134.43/oeecd/pdfs/browseit/6606031E.PDF>

⁶Libro anual de Reservas de Petróleo y Gas 2006. DGH-MINEM

⁷Plan Referencial de Hidrocarburos 2007- 2016. DGH-MINEM

sería de 116 millones de barriles, considerando que se importa más del 50 % del consumo nacional, esta situación demanda diversificar la matriz energética .

Gas natural: Las reservas totales de gas natural son de 11.9 Trillones de pies cúbicos (TCP), de los cuales 4.0 TCP ya están comprometidos en el proyecto de exportación a México, y con la demanda nacional se estima que se tiene reservas para 20 años .

Hidroenergía: La hidroenergía es un recurso que disponemos en cantidades limitadas en las regiones de la Costa y la Sierra y en mayor abundancia en la Selva. Sin embargo, por ser un recurso renovable, proveniente de la lluvia y los glaciares de la cordillera blanca, con el cambio del clima por el efecto invernadero está disminuyendo con el tiempo. Las reservas probadas para el año 2006 son de 1.3x10⁶ GWh. En la figura 7 se muestra las reservas nacionales en tanto por ciento. La política actual del gobierno es dar incentivos para que los proyectos hidroeléctricos sean rentables.

Otras reservas

Las reservas de carbón mineral son de 50 millones de toneladas; no obstante, la explotación plena todavía no se realiza y se importa carbón.

La reservas de otros recursos como la eólica, solar, biomasa y geotérmica no han identificados. Sin embargo, con la ley de Promoción

de las Fuentes Renovables están teniendo acogida y se percibe el interés de los inversionistas en desarrollar proyectos para estas fuentes.

Conclusiones

En el Perú, todavía no hay un programa de explotación del uranio ni un plan para la construcción de centrales nucleoelectricas; no obstante, contar con las reservas de uranio suficiente para garantizar un programa nuclear de generación de electricidad.

Muchos países en sus planes estratégicos han considerado a la nucleoelectricidad como opción prioritaria por las virtudes que presenta. En nuestro medio, necesita ser considerada y evaluada en competencia con las otras fuentes disponibles, en un mercado de libre competencia y con igualdad de condiciones.

Desde el punto de vista ambiental global, sin la nucleoelectricidad las emisiones de CO2 y otros gases hubiesen sido mayores, con lo cual tendríamos un ambiente mucho más agresivo y peligroso. También en muchos países la electricidad sería más cara con repercusión en la economía mundial.

El Perú firmante de los tratados internacionales de protección del medio ambiente debe considerar las opciones ambientalmente más limpias y económicas que aseguren el servicio eléctrico.

Nuestro país tiene reservas pequeñas de petróleo y se importa más del 50 %. Las reservas actuales de gas se estiman para un período de 20 años; sin embargo, el impacto por su escasez será mucho antes.

Ante la realidad nacional y mundial para soportar mejor nuestro futuro energético es conveniente y necesario encarar y realizar estudios integrales de energía considerando todas las alternativas energéticas comercialmente disponibles en el contexto de desarrollo sostenible.

Es necesario hacer un uso racional de los recursos energéticos y diversificar la matriz energética con la finalidad de asegurar nuestro futuro energético y satisfacer la demanda en el contexto de desarrollo sostenible.

ESTRUCTURA DE LAS RESERVAS PROBADAS DE ENERGÍA COMERCIAL: 2006

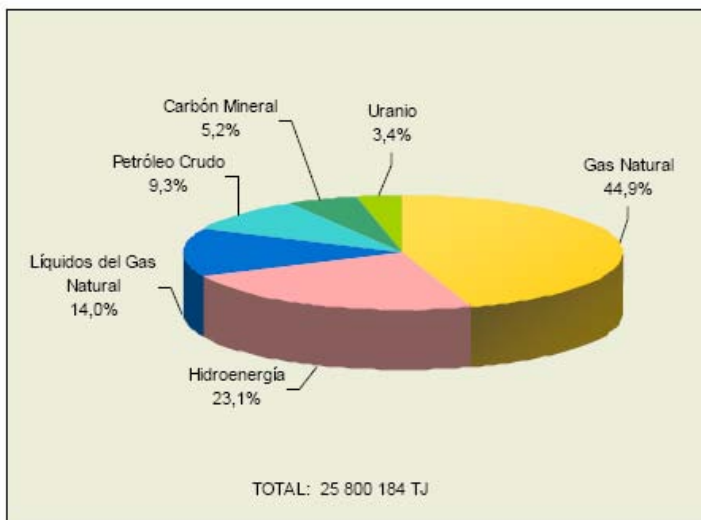


Figura 7: Estructura de las reservas probadas del país .

⁸MEM. Balance Nacional de Energía 2006



Demanda y potencial uranífero del Perú

Jacinto Valencia Herrera – Instituto Peruano de Energía Nuclear

El descubrimiento de la fisión nuclear permitió que se alentara la industria del uranio. Los primeros años (1940) fue estimulada por los incentivos de los Estados, por ser considerado un mineral estratégico; durante ese período, sólo en los Estados Unidos de Norteamérica

(USA) se descubrieron más de 20,000 ocurrencias de uranio. De tal modo, que en el año 1959 la producción mundial de uranio alcanzó las 34,000 T.M.U. Cuando los países terminaron las compras de uranio para fines militares, también se cerraron los contratos de suministro, produciéndose a partir de 1970 el paso a su etapa comercial y la minería del uranio.

Evolución del precio de uranio

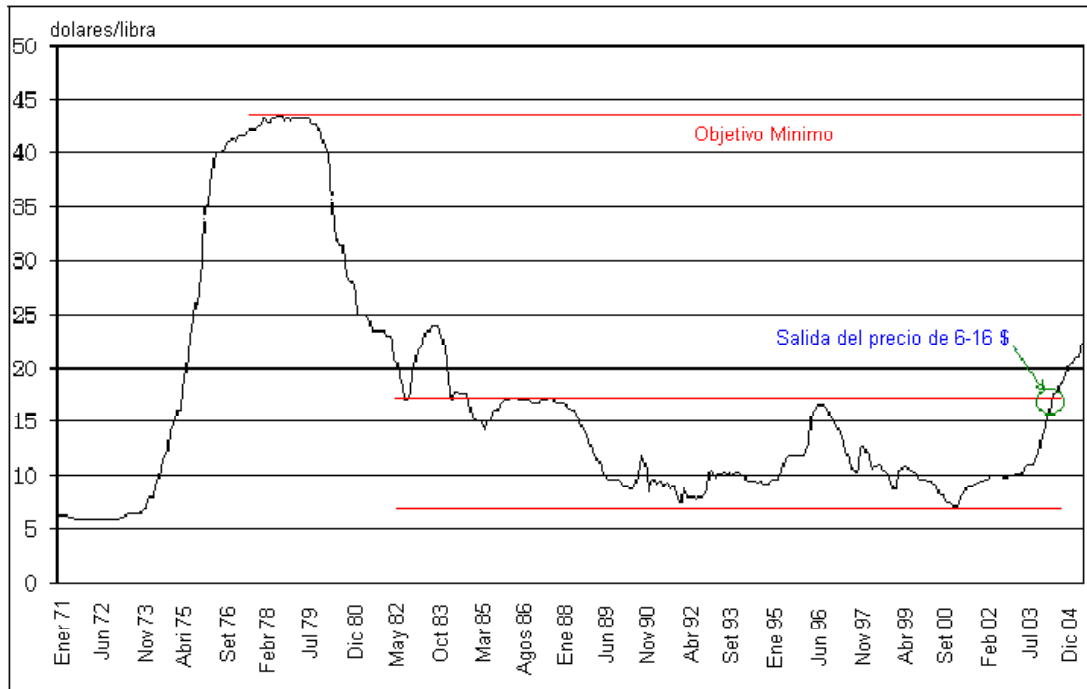
A finales de la década de los años 1960, el

gran volumen de producción y reservas de uranio acumulados, se encontraron sin un mercado comercial sólido, lo que se tradujo en un exceso de la oferta de uranio, y con ello la caída de su precio, llegando a cotizarse por debajo de 6 dólares la libra. No obstante, las proyecciones a futuro del uso de la energía nuclear, la demanda de uranio y los precios se mantuvieron bajos hasta finales de 1973, año en que la OPEP incrementó considerablemente el precio del petróleo.

En los subsiguientes años la rentabilidad de la núcleo-electricidad mejoró y el precio del uranio empezó a subir, a pesar de los altos costos de producción. Sin embargo, la demanda siguió creciendo y se intensificaron las exploraciones, aumentando los stocks de reservas de uranio y la capacidad de producción. A principios del año 1978, la cotización alcanzó los 43 dólares por libra de uranio (Figura 1).

Fig 01

Comportamiento histórico del precio del uranio



A partir de 1979, la demanda de uranio comenzó a decrecer; entre otras razones, por la fuerte controversia hacia el tema nuclear por parte de grupos ambientalistas, la reducción del crecimiento proyectado de la demanda de energía y el accidente nuclear de Three Mile Island. El precio de la libra de uranio disminuyó notablemente llegando a cotizarse en 6 dólares la libra, monto que permaneció invariable por más de 20 años. Durante este período los países productores acumularon grandes reservas de uranio.

Por primera vez, en el año de 1985, la pro-

ducción de uranio cayó por debajo de la demanda. Este desbalance fue cubierto por los suministros secundarios procedentes principalmente de países de Europa del Este. (1)

A partir del año 2003, se produce un incremento sostenido en el precio del uranio, debido al agotamiento de los suministros secundarios que se estiman durarán sólo hasta el 2010. Esta situación ha repercutido fuertemente en la exploración de uranio. En el escenario actual, tres factores están influyendo a favor de la minería del uranio: la creciente demanda de energía, de cara a su diversificación; el alza del precio del petróleo; y los alarmantes resultados de los estudios del cambio climático, que obligan a reducir el uso de combustibles fósiles. (Figura 2).

Uranio y la Energía nuclear

La rentabilidad de la energía nuclear, radica en la generación de la nucleoelectricidad. Todos los escenarios, aun los más conservadores, señalan que la demanda de energía en el mundo se duplicará en los próximos 25 años. En parte, debido a la relación que hay entre desarrollo y consumo de energía. El crecimiento de esa demanda estará condicionado por aspectos económicos y de tipo ambiental; de tal manera, que los tipos de generación eléctrica con mayor grado de

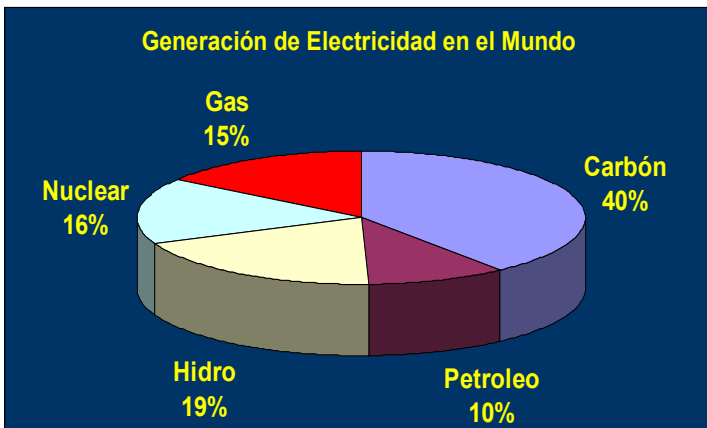


Figura 2: Contribución porcentual de fuentes de generación de electricidad en el mundo

sostenibilidad deberán ir reemplazando a los que se basan en combustibles fósiles. En la Tabla 1 se muestra la comparación de las cantidades requeridas por tipo de combustible para la generación de 1000 MW/año.

Tabla 1: Energía nuclear y fuentes fósiles: capacidad de generación eléctrica.

Combustible	Cantidad para producir 1000MW(e) año (*incl. factores de eficiencia)
U-235	3.6 toneladas
Petróleo	15 millones de barriles
Carbón	3 millones de toneladas
Gas	2.4 x 10 ¹² litros

El Uranio frente a otros tipos de combustibles

Debido a las características de la energía nuclear, cero emisiones de gases invernadero durante su generación, y emisiones comparables con las llamadas fuentes renovables de energía de otros tipos de la cadena de generación, la sitúan en una posición de ventaja, como una de las fuentes de energía a ser considerada en los planes de expansión eléctrica para el mediano plazo. De hecho, algunos escenarios de previsión energética en el mundo ya postulan crecimientos de la capacidad energética, considerando a la energía nuclear en el orden de más del 70%, debiendo destacar dentro de este escenario a China e India.

En relación con los recursos disponibles en base a las definiciones oficiales establecidas por la Agencia de Energía Nuclear (AEN) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y avaladas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), señalan que los recursos convencionales de uranio en el mundo alcanzan los 11 293 000 toneladas. Pero también se encuentran los recursos no convencionales, cuyo volumen extraíble asciende a 434,2 millones de toneladas que pueden obtenerse de los fosfatos y del agua de mar.

Haciendo una estimación de la duración de los recursos de uranio al ritmo del consumo hasta el 2006, y de acuerdo con las modalidades de uso actuales de energía eléctrica,

los recursos uraníferos convencionales y no convencionales serían suficientes para cubrir 6,150 años.⁽²⁾

Posibilidades uraníferas del Perú

Los programas de exploración emprendidos por el Estado a través del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), han permitido identificar más de 76 áreas, que contienen concentraciones de uranio en cantidades mayores a las de su contenido natural (background). Su presencia está distribuida mayoritariamente dentro de las rocas ígneas. Los estudios realizados identifican un inventario de 72 depósitos metálicos uraníferos, 15 localidades hidrotermales no asociadas con otros metales, 9 lugares de aguas termales radiactivas, una pegmatita, cuatro granitos del tipo calco-alcalinos a alcalinos, una diorita, tres áreas de rocas volcánicas piroclásticas de composición riolítica, seis localidades con pizarras negras y cuatro áreas mineralizadas hidrotermalmente de alta cuenta de fondo ⁽³⁾.

En los diversos ambientes geológicos del Perú se presentan la mayoría de los tipos de depósitos de uranio conocidos en el mundo. Muchas ocurrencias pueden ser clasificadas en cuanto a su origen en depósitos singenéticos y depósitos epigenéticos de segregación lateral e hidrotermal. El uranio reciclado y puesto en solución por la removilización de las soluciones preexistentes, puede migrar dentro de las aguas superficiales y ser depositado singenéticamente dentro de los sedimentos o migrar hacia las aguas subterráneas y ser depositado epigenéticamente.

Todas las ocurrencias de uranio conocidas son del primer ciclo; vale decir, depositados singenéticamente dentro de granitos, pegmatitas y riolitas o depositados epigenéticamente de solución magmática hidrotermal, diferenciados en mayor grado.

Se considera que la cantidad de uranio en los andes peruanos, depende esencialmente de la proporción de metales que intervienen en la provincia metalogenética andina; y en esta, se desconoce la relativa abundancia total de uranio, porque solamente se han encontrado concentraciones anómalas, mayores a su background de acuerdo al tipo de roca, dentro de los ambientes de rocas piroclásticas, y que a la fecha resultan ser los

² Contacto Nuclear : Reservas de uranio y sus factores económicos. José R. Ortiz M , Director del ININ.

³ Informes Internos de la Ex-Dirección de Materias Primas del IPEN, año 1987.

ambientes más favorables desde el punto de vista de roca fértil en uranio y también como roca receptora para la acumulación de su propio aporte de uranio.

Localización de los indicios uraníferos

Las primeras exploraciones por uranio en el Perú fueron orientadas a la región andina; es decir, partes altas de la cordillera de los andes, con buena exposición de afloramientos y en lugares accesibles.

La vertiente occidental de difícil acceso, es conocida parcialmente, mientras que la cordillera oriental y la cuenca del Amazonas de muy difícil acceso, se encuentran casi inexploradas. Sin embargo, se puede adelantar que la distribución de uranio dentro de las regiones más exploradas, muestran un arreglo zonal con varios ambientes geológico-uraníferos e indicando que las regiones menos exploradas, son también favorables para la ocurrencia de uranio (4).

Desde el punto de vista de la ocurrencia de uranio, en la parte central del Perú, se presenta, uranio singenético primario, dentro de los granitos, con una sola excepción, está restringido a una angosta cadena de un singular granito paleozoico (herciniano) a lo largo de la vertiente oriental. En la parte suroccidental el uranio primario corresponde al vulcanismo terciario de tufos y riolitas, existiendo además otros emplazamientos pequeños en el norte del Perú de similares características. En la parte andina central, el uranio singenético secundario está restringido a rocas sedimentarias que corresponden a los departamentos de Lima, Junín y Pasco.

En la actualidad, estos tres tipos de ocurrencia deben ser tomados en cuenta y revisada su favorabilidad, permitiendo obtener pautas para la orientación de las futuras exploraciones de uranio en nuestro país. Lo anteriormente expresado evidencia la existencia de movilización de uranio en el contexto magmático andino del territorio. Aunque no se hayan descubierto manifestaciones que sean de interés económico, a excepción de Macusani, muy cerca de todas las localidades donde el uranio es el responsable de un nivel de radiación mayor, existen yacimientos minerales que han sido desarrollados por otros meta-

les, al parecer sin tener en cuenta el uranio, estos pueden tener una relación genética con el uranio o simplemente el uranio estar asociado y por lo tanto también constituyen áreas prospectables.

La distribución de las localidades uraníferas, sugiere una gradiente en la geoquímica del uranio en relación con los depósitos hidrotermales, En el Perú aumenta hacia el noreste a través de los andes y es coincidente con la gradiente de intensidad de temperatura establecida para la mineralización regional. Ahora si el uranio se presenta bajo el mismo ambiente, como se conoce en otros depósitos de uranio, dentro de la cordillera del hemisferio occidental, el potencial más grande de uranio se encontraría cerca del borde del cinturón orogénico o dentro de sus límites de deformación, donde se presenta en general mineralización de baja temperatura y a poca profundidad.

Las gradientes mencionadas, para el caso del uranio, pueden haber alcanzado ambientes de los andes orientales menos conocidos, faja subandina y la cuenca del Amazonas, donde se ha indicado que existen las mejores condiciones geológicas para la formación de depósitos de uranio, siendo las rocas mesozoicas y terciarias las que presentan condiciones favorables para la migración, circulación y depósitos de las soluciones portadoras de uranio.

Los resultados obtenidos hasta ahora, sobre el conocimiento de la presencia de uranio en el Perú, indican que la favorabilidad en el país es buena (Figura 3); desafortunadamente, donde hay condiciones más favorables son las menos exploradas, por lo difícil y costoso para explorarlas. Sin embargo, este nuevo impulso en las exploraciones y con una mejor tecnología disponible, harán viable que en menor tiempo se pongan en evidencia nuevos depósitos de uranio.

Consideraciones metalogenéticas

El magmatismo andino, las rocas ígneas, y dentro de ellas, los granitos alcalinos y el vulcanismo terciario de rocas piroclásticas, composición ácida como las riolitas y riocitas, contienen uranio en la misma forma en virtud del mismo proceso formativo; en este último caso, se conoce que el uranio es

4 Uranio en el Perú: J. Gabelman, Boletín No 56, Junta de Control de Energía Atómica, año 1966.

universalmente más común en tufos y cenizas que en flujos de lavas, debido tanto a la abundancia de piroclásticos como al mayor contenido de constituyentes volátiles, en los que están contenidos mayoritariamente los minerales radiactivos y haciéndolos más fáciles de liberarse (5).

En los trabajos iniciales por uranio en el país, no se descartó que las concentraciones de uranio en rocas como tufos riolíticos presenten depósitos de interés económico. En la actualidad, por lo logrado se considera como uno de los ambientes geológicos más importantes para uranio en el país, y que podría deberse a segregación lateral, concentrándose en los mismos piroclásticos o en otros lugares de depositación favorable. Estas rocas, tienen una permeabilidad inherente más elevada que el granito y solamente el obturamiento de su permeabilidad por la alteración y formación de arcillas a partir del feldespato, podría impedir la libre circulación de las aguas que movilicen el uranio.

Hay buenos ejemplos de yacimientos uraníferos en el mundo emplazados en vulcanismo ácido, con mineralización principal de pechblenda, óxidos negros, etc. y de diferentes edades, predominando las más recientes, y en rocas huésped diversas, generalmente no metamorfizadas.

El yacimiento de Marysvale (U.S.A.) relacionado a vulcanitas terciarias, pertenece a este grupo, lo mismo que el Rexspar (Canadá). Salvo por la edad de las viejas vulcanitas a las que estarían genéticamente relacionados, podrían también estar relacionadas parcialmente, algunos depósitos de las regiones de South Alligator, River Valley y de Mary Kathleen (Australia). Para el caso de la región, se pueden incluir dentro de este tipo al yacimiento de Peña Blanca en México, La meseta de los Frailes en Bolivia y el depósito de uranio de Cotaje, Los Volcánicos Quenamari del SE. de Perú y la cuenca de Ayacucho, entre otros.

Un hecho importante a destacar, el 90% de las reservas uraníferas mundiales contenidas en depósitos exogénicos se localizan dentro del "área de influencia" de los grandes macizos precámbricos del mundo y el resto están en relación con los núcleos hercinianos o con los ambientes ígneos mas jóvenes. De esto se desprende, que el factor "tiempo geológico" reviste un rol fundamental en la favorabilidad de las fuentes de aporte de uranio en la constitución de depósitos de uranio.

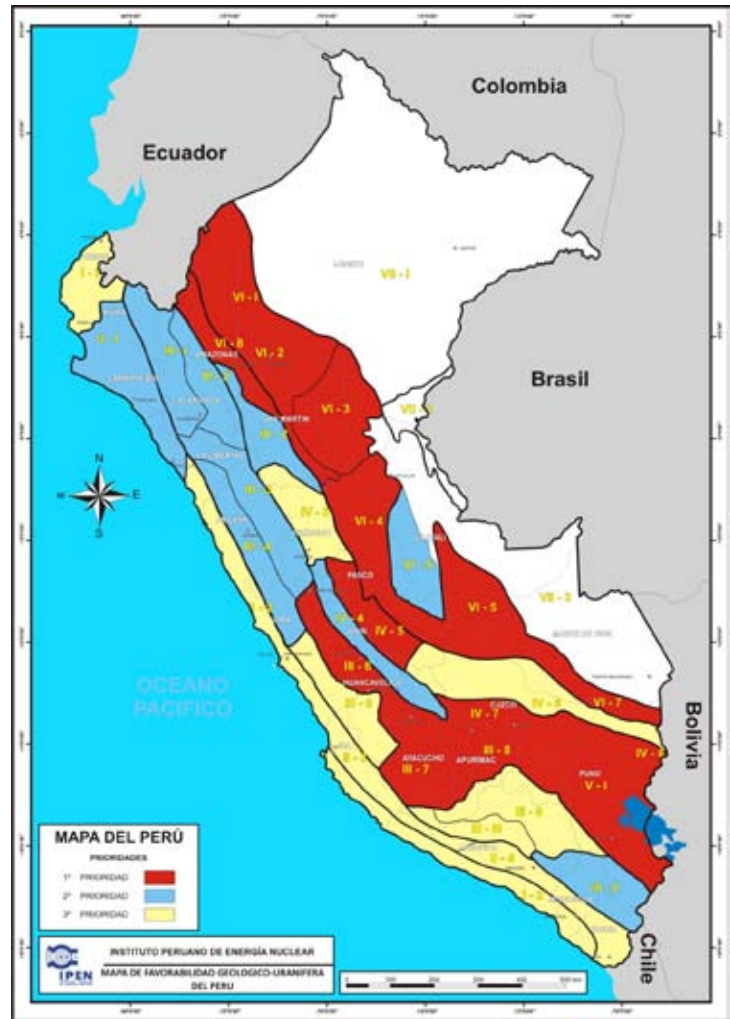
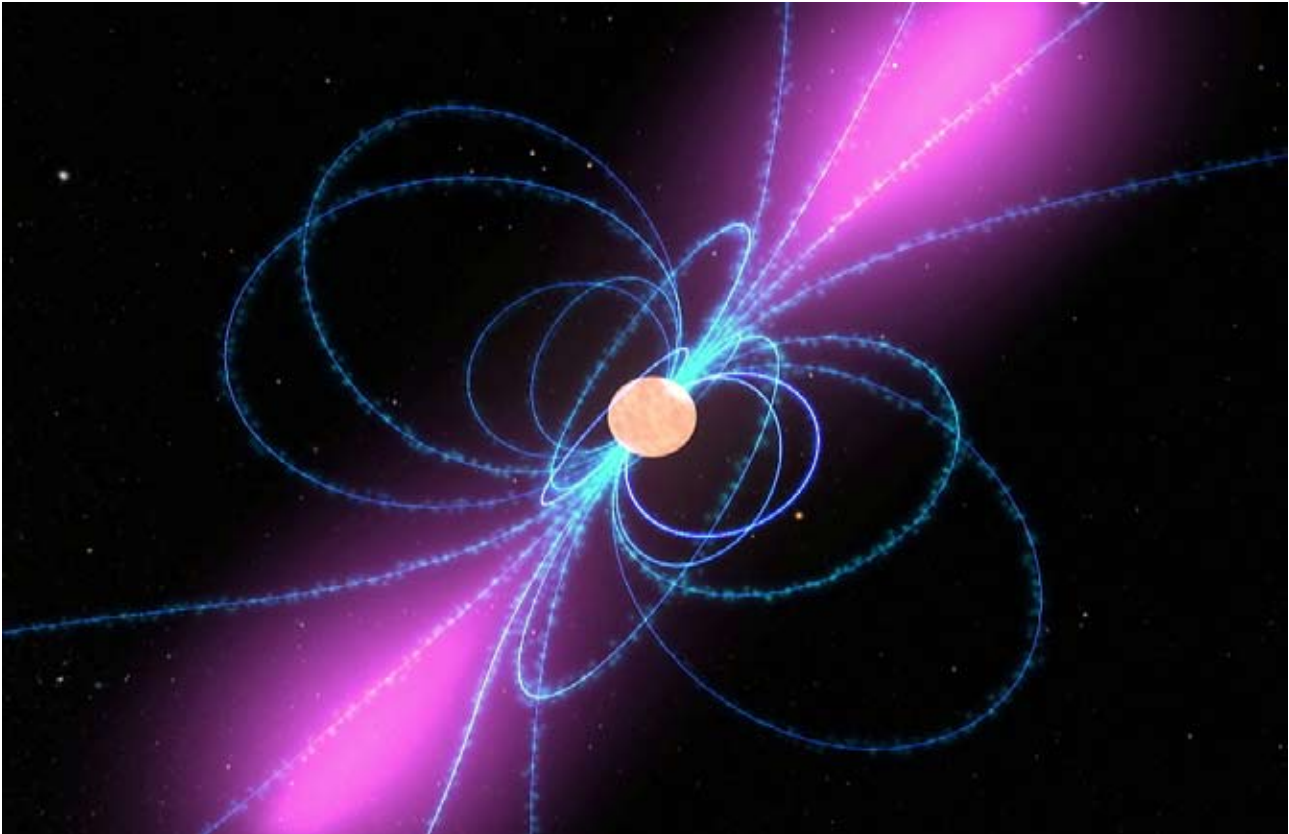


Figura 3: Mapa de favorabilidad geológico-uranífera del Perú.



Figura 4: Muestra de mineral de uranio autunita. Procedente Macusani (Puno).



Aplicación de radiación gamma para la obtención de nuevos biomateriales para el tratamiento de heridas

Julio Santiago Contreras- Instituto Peruano de Energía Nuclear

La aplicación industrial de la radiación gamma en el campo de los biomateriales, alcanzó un gran auge en los años de '80. Ha sido utilizada principalmente para la descontaminación en la industria alimentaria, esterilización de productos sanitarios, farmacéuticos, cosméticos, injertos, materiales quirúrgicos, mantenimiento de obras de arte, etc.

Hay varios métodos de esterilización que pueden utilizarse; tales como, esterilización por vapor, esterilización por filtración, óxido de etileno, aceleradores de electrones, rayos X y la radiación gamma. Cada técnica de esterilización tiene sus características inherentes que la hacen más o menos idóneas dependiendo del tipo de producto.

El tratamiento por rayos gamma posee ventajas significativas sobre otros métodos de fabricación de productos estériles, como una

mayor garantía en la esterilidad del producto que la filtración y producción aséptica, ausencia de residuos como los que produce el óxido de etileno, mejor penetración que el acelerador de electrones, proceso a temperatura ambiente y de fácil validación.

Además de su empleo para la esterilización de diversos materiales, la radiación gamma también es usada en la ciencias de los materiales para la modificación de plásticos, vulcanización del caucho y en la preparación de nanomateriales a partir de soluciones precursoras. El procesamiento de polímeros por radiación gamma, permite producir nuevos materiales con mejores propiedades que los obtenidos por los métodos químicos. La radiación puede producir un acortamiento de la cadena, promover la polimerización, formar copolimerizaciones o generar entrecruzamiento entre las diferentes cadenas. El tamaño, forma o estructura química de los

polímeros favorece uno de estos fenómenos. Además, los materiales obtenidos de esta manera quedan al mismo tiempo esterilizados, facilitando su aplicación en biomedicina.

Las aplicaciones potenciales de estos nuevos materiales en biomedicina y biotecnología incluyen tratamientos locales, implantes, dispositivos de liberación controlada de drogas, inmovilización de enzimas y matrices para cultivo celular.

Aplicación en la preparación de materiales para el tratamiento de heridas

Para el tratamiento de heridas de quemaduras se están empleando películas obtenidas a partir de piel de cadáver (homoinjertos), piel porcina (xenoinjerto) y membrana amniótica humana. Sin embargo, la tendencia actual es la de utilizar materiales que, además de poseer propiedades similares a la piel normal (no poseer toxinas, proporcionar un ambiente que prevenga la resequecedad de la herida, reducir la penetración de bacterias, evitar pérdidas de calor, agua, proteínas y glóbulos rojos), promuevan una rápida cicatrización. Así, se han desarrollado diferentes materiales, en forma de esponjas o películas, que contienen medicamentos, nutrientes y biomoléculas con diferentes grados de éxito.

Los recubrimientos con hidrogeles (materiales poliméricos entrecruzados en forma de red tridimensional) están considerados entre los más avanzados para el tratamiento de heridas de difícil cicatrización (quemaduras graves y extendidas, úlceras faciales), ayudan a mantener la zona afectada con una adecuada humedad, facilitan el debridamiento autolítico y actúan como una barrera eficaz para evitar que las bacterias ambientales infecten la herida. Estas películas tienen la capacidad de absorber una gran cantidad de agua y cualquier sustancia disuelta en ella. De esta manera, es posible introducir en los hidrogeles componentes activos que tengan reconocida actividad biológica para acelerar la cicatrización de las heridas.

Entre los polímeros más utilizados en la preparación de hidrogeles para el tratamiento de quemaduras tenemos el quitosano y el alcohol polivinílico (PVA) debido a su biocompatibilidad, biodegradabilidad y no toxicidad. El quitosano es un polisacárido, que se obtiene por deacetilación de la quitina (obtenida a

partir de los desechos de crustáceos), y está compuesto de dos subunidades, D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina, unidas por un enlace glucosídico β -(1,4). Posee carácter antimicrobiano debido principalmente a la presencia de grupos amino, cargados positivamente, que interactúan con la membrana celular de la bacteria, cargada negativamente, provocando el deterioro de las proteínas y de otros componentes en la membrana de los microorganismos. Por su parte, el alcohol polivinílico es un polímero sintético, obtenido por hidrólisis ácida o básica del acetato de polivinilo, muy utilizado en la preparación de películas por sus propiedades elásticas, mecánicas y permeabilidad.

La formación de hidrogeles a partir de quitosano y PVA puede realizarse por métodos físicos o químicos. Los agentes químicos utilizados para el entrecruzamiento de las cadenas poliméricas son principalmente el glutaraldehído y la genipita (un compuesto natural). Entre los métodos físicos se puede mencionar el de enfriamiento-calentamiento, y el que utiliza radiación gamma. De todos ellos, el que mejor se presta para la obtención de películas para aplicaciones biomédicas es el método de entrecruzamiento por radiación gamma, tanto por la estabilidad mecánica, grado de hinchamiento y por la ausencia de residuos tóxicos. También se han preparado hidrogeles entrecruzando primero el PVA con radiación gamma y luego introduciendo una solución de quitosano.

El Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) cuenta con un irradiador Gammacell 220 Excell con una fuente de Co-60 doblemente encapsulado en acero inoxidable, con una tasa de irradiación de 14 kGy/h, ideal para realizar experimentos a escala de laboratorio. Utilizando esta facilidad se ha logrado optimizar las condiciones para obtener el entrecruzamiento por radiación gamma de cadenas de quitosano con PVA, obteniendo materiales con buena estabilidad química, térmica y mecánica.

Para incrementar las propiedades biológicas de las películas de quitosano-PVA se han introducido diferentes aditivos como hormonas de crecimiento y fibroblastos. También se ha utilizado extractos de plantas, principalmente del Aloe vera en PVA. En nuestro caso, hemos iniciado un programa de investigación en el cual utilizamos extractos de plantas medicinales solubles en soluciones acuosas o hidroalcohólicas dentro de matrices de quitosano y PVA entrecruzadas por radiación

gamma.

En nuestras investigaciones estamos empleando el látex de la sangre de grado (*Croton lechleri*) debido a sus reconocidas propiedades biológicas. Este 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. El estudio fitoquímico del látex muestra que está constituido de alcaloides (taspina), lignanos, derivados de la catequina (epicatequina, galocatequina y epigallocatequina), polifenoles, proantocianidinas, etc. 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.

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 *Klebsiella* FDA 602. Igualmente, se ha encontrado que la sangre de grado inhibe el crecimiento de *Helicobacter pylori* en concentraciones elevadas.

Los experimentos realizados in vitro muestran actividad antimicrobiana del látex de la sangre de grado para la cepa de *S. aureus*. Se observa un halo grande con difusión de sus componentes en el medio de cultivo (Figura 1). En el caso de *E. coli* y *P. aeruginosa*, se observa la difusión de los componentes pero no se observa halo de inhibición.

Las películas embebidas en una solución hidroalcohólica son las que presentan mejores resultados. Estas películas exhiben un halo de inhibición bien marcado frente a *S. aureus* (Figura 2). En cambio, la que fue embebida en solución alcohólica presentó un halo más pequeño. En el caso de la película embebida en solución acuosa de sangre de grado, el halo observado no está bien marcado, observándose crecimiento de colonias sobre los bordes. Se utilizó un disco de oxacilina como control positivo y una película sin embeber como control negativo. La primera mostró un halo bien marcado mientras que la segunda

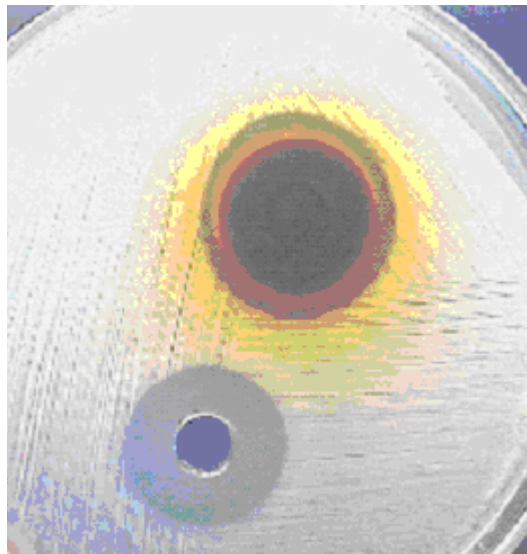


Figura 1. Látex de sangre de Grado frente a *S. aureus*. Se utilizó una solución de tego al 0,2% como control positivo.

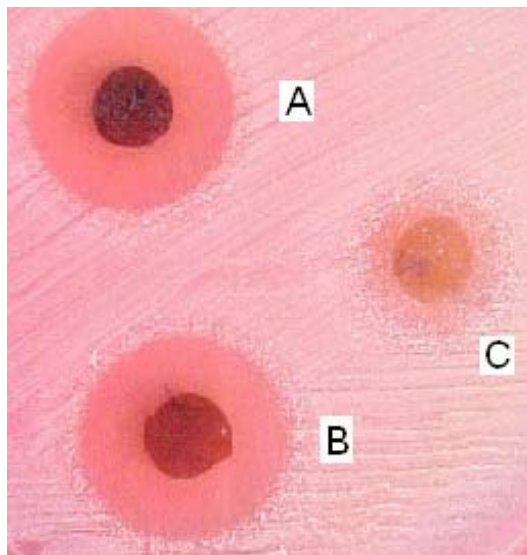


Figura 2. Películas embebidas en soluciones: a) hidroalcohólica, b) acuosa, y c) alcohólica, de sangre de grado frente a *S. aureus*.

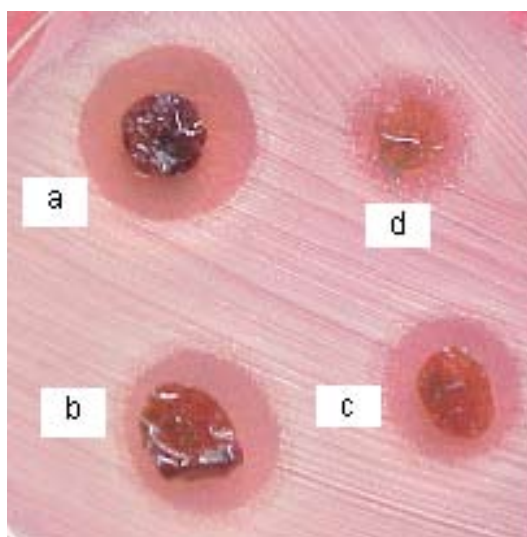


Figura 3. Películas de quitosano-PVA embebidas en soluciones hidroalcohólicas de sangre de grado en concentraciones de a) 0,1; b) 0,05; c) 0,025 y d) 0,0125g/10mL.

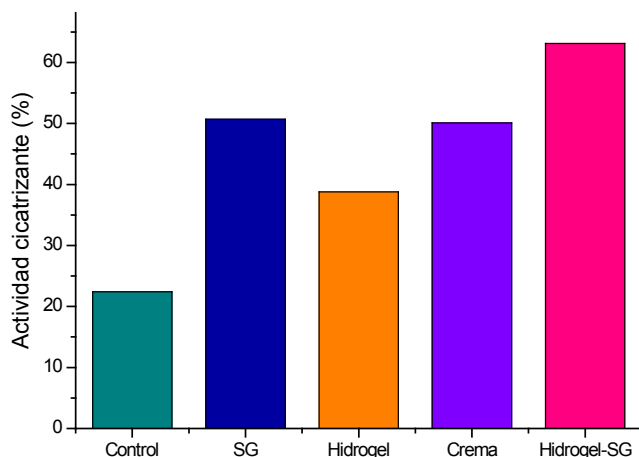


Figura 4. Pruebas in vivo de cicatrización (resultados obtenidos en colaboración con la Facultad de Farmacia de la Universidad San Luis Gonzaga de Ica).

no mostró ninguna actividad.

El hecho de que las películas embebidas con soluciones hidroalcohólicas de sangre de grado presenten la mejor actividad frente a *S. aureus* puede relacionarse con la mejor solubilidad en este medio, en comparación con las soluciones acuosas y alcohólicas. Esto es una evidencia adicional de que todos

los componentes del látex presentan sinergia para exhibir las propiedades microbiológicas observadas. La prueba para la determinación de la concentración mínima inhibitoria de las películas embebidas en solución hidroalcohólica de sangre de grado mostró que la mínima concentración para inhibir la cepa de *S. aureus* es 0,025g/10mL, (Figura 3).

Las pruebas in vivo de la actividad cicatrizante de las películas muestran claramente que las películas de quitosano-alcohol polivinílico embebidas con sangre de grado promueven una rápida cicatrización de heridas producidas por cortes en ratones (Figura 4). En efecto, estas películas mostraron una cicatrización más rápida que en los casos del tratamiento con una crema comercial de reconocida acción cicatrizante, la que mostró una cicatrización similar a la del látex de sangre de grado (SG). Sin embargo, no se recomienda la utilización directa del látex por su toxicidad. Además se observa una sinergia entre la película de quitosano-alcohol polivinílico (hidrogel) y la sangre de grado.

Este trabajo de investigación es parcialmente financiado por el Third World Academy of Science (TWAS), que cubre un aspecto del proyecto de investigación: "Leishmanicidal effects of Croton lechleri extract desorbed from a biopolymer".



Radón y radiación natural en la tierra

Mario Mallaupoma - Instituto Peruano de Energía Nuclear

Cuando la tierra se formó hace más de cuatro mil millones de años, el material que la formaba contenía muchos isótopos radiactivos; es decir, emitían radiaciones. Desde entonces, fueron decayendo los isótopos que poseían un corto período de semidesintegración, mientras aquellos con un período de semidesintegración largo (100 millones de años o más) permanecen aún junto a los que se forman por decaimiento radiactivo de esos isótopos de largo período de semidesintegración. El término período de semidesintegración se emplea para indicar el período donde la radiactividad disminuye a la mitad debido a la desintegración radiactiva.

Los tres radioisótopos más importantes que se encuentran formando parte de la naturaleza son el uranio-238 (U-238), el uranio-235 (U-235) y el torio-232 (Th-232). Cuando estos radioisótopos se desintegran emiten radia-

ciones y forman nuevos radionucleídos con menor período de semidesintegración, los cuales a su vez, siguen decayendo a otros radioisótopos que siguen emitiendo radiación. Los tres radionucleídos antes mencionados, conducen a tres series separadas de radionucleídos. Todos ellos se encuentran en forma natural en la corteza terrestre y representan la mayor parte de la radiactividad a los que están expuestos los seres humanos. Asimismo, estas series de desintegración radiactiva son las que contribuyen a generar tanto una exposición interna, debido al radón y sus descendientes, como también a producir una exposición externa debido a la radiación gamma.

En resumen se puede afirmar que la Tierra es un planeta radiactivo desde su creación, y nos hemos percatado de ello, recién desde hace apenas un poco más de cien años.

EL RADÓN Y SUS CARACTERÍSTICAS

El radón es un elemento químico, cuyo símbolo es Rn y número atómico 86. El radón es un gas inodoro e incoloro a condiciones normales de presión y temperatura, resultante de la desintegración radiactiva del radio, el cual a su vez, es un producto de la desintegración radiactiva del uranio. Es muy radiactivo y se desintegra emitiendo partículas energéticas alfa. Es el elemento más pesado del grupo de los gases nobles o inertes, y por tanto, se caracteriza por su inercia química. Es extremadamente móvil, pudiendo atravesar una pared de cristal, madera y/o hormigón en un determinado tiempo, dependiendo del tipo de material. También forma parte en una pequeña proporción de la composición del aire atmosférico que respiramos y su solubilidad en el agua es relativamente alta.

En la naturaleza existen tres isótopos de radón con diferentes tiempos de período de semidesintegración: Rn-219 (4 s), Rn-220 (55.6 s) y Rn-222 (3.82 días). Estos provienen de las principales cadenas de decaimiento naturales. El isótopo de mayor importancia es el Rn-222 que pertenece a la cadena del U-238 y es el llamado comúnmente gas radón (Rn-222). Los tres isótopos de radón al decaer radiactivamente emitiendo radiaciones alfa, beta y gamma, se convierten en un elemento estable al que denominamos plomo.

En la Figura 1 podemos visualizar la formación de los isótopos del radón, como producto de la desintegración radiactiva de las series radiactivas naturales así como el isótopo estable que forman luego de su decaimiento radiactivo.

La radiactividad y el radón en la naturaleza

En la corteza terrestre existen muchos isótopos radiactivos. Los más importantes son el potasio-40 (K-40), el rubidio-87 (Rb-87) y aquellos que integran las tres cadenas naturales: serie del uranio-235 (U-235) compuesta por 17 por radioisótopos, serie del uranio-238 (U-238) compuesta por 19 radioisótopos y serie del torio-232 (Th-232) compuesta por 12 radioisótopos. Todos ellos, conocidos por la sigla en inglés como NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials), constituyen conjuntamente con la radiación de origen cósmico, la principal fuente de radiación recibida por los seres humanos. En la Tabla 1 podemos visualizar los principales radionucleídos que se encuentran en forma natural.

Tabla 1. Principales radionucleídos presentes en la naturaleza.

Radionucleído	Símbolo	Período de semidesintegración
Uranio-235	U-235	7.04 x 10 ⁸ años
Uranio-238	U-238	4.47 x 10 ⁹ años
Torio-232	Th-232	1.41 x 10 ¹⁰ años
Radio-226	Ra-226	1.60 x 10 ³ años
Radón-222	Rn-222	3.82 días
Potasio-40	K-40	1.28 x 10 ⁹ años

Aparte de la propia corteza terrestre, otras fuentes de radón son los servicios domiciliarios o industriales de gas y agua, especialmente cuando esta última procede de napas

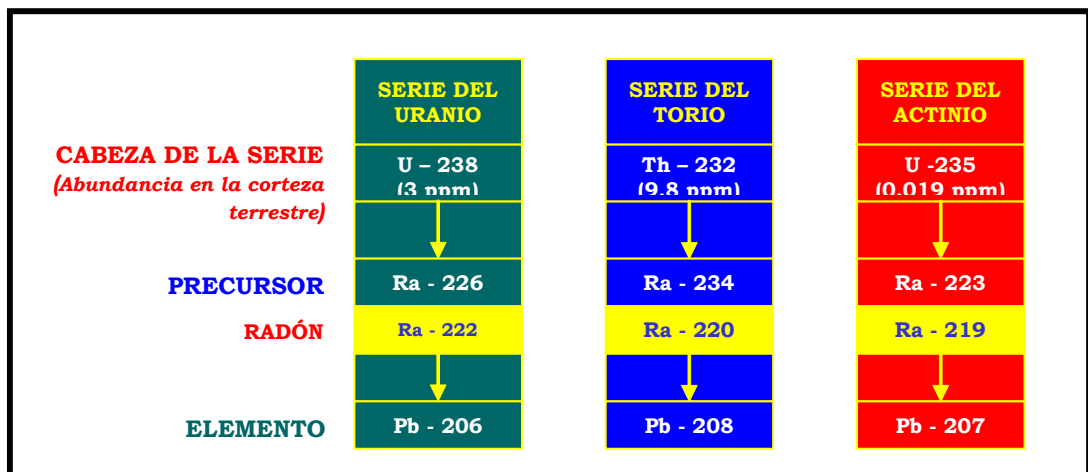


Fig. 1 Formación de isótopos de radón en la naturaleza.

muy profundas. En el caso particular de los yacimientos, principalmente en cuencas gasíferas, este elemento suele concentrarse posteriormente, en las fracciones de etano y propano. El radón siendo un gas radiactivo suele separarse del medio donde se encuentra para fluir en la tierra en toda la superficie constituyéndose así en la mayor fuente de radiación natural a la que un ser humano está sometido.

El radón y las dosis recibidas debido a la radiación natural

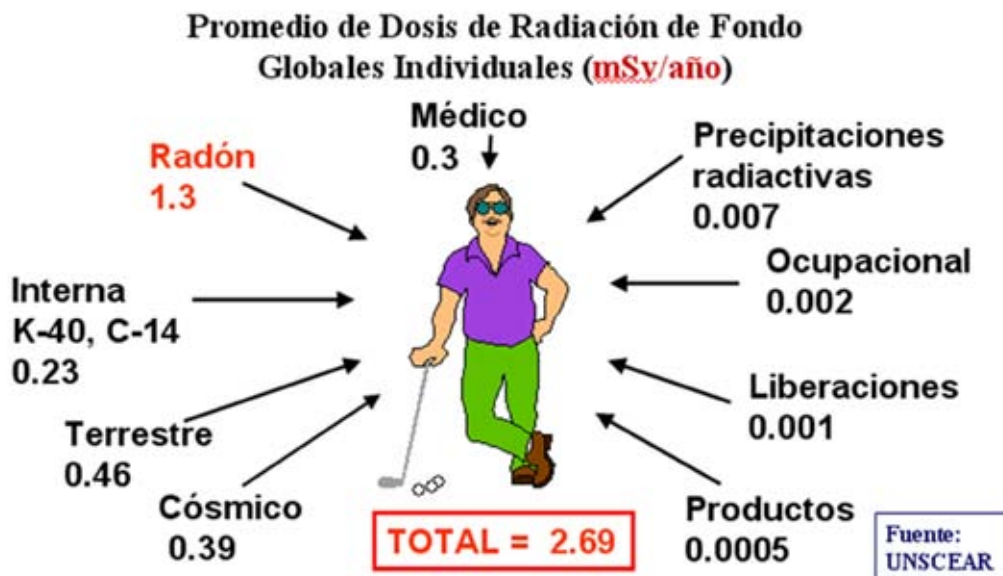
El radón se presenta en la naturaleza principalmente en la fase gaseosa, en consecuencia, las personas están expuestas al radón a través de la respiración del aire. El radón es una de las principales sustancias que contribuye a la dosis que recibimos de manera natural.

Según evaluaciones efectuadas por el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), el radón presente en el medio natural constituye alrededor del 53% de la exposición del hombre a la radiación natural. La mayoría de la dosis recibida proviene de la inhalación de los radionucleidos, especialmente en ambientes cerrados. Hace una década, las radiación emitida por el radón y sus nucleidos hijos, se consideraban un peligro para la salud que sólo se presentaba durante la extracción y tratamiento del uranio. Este concepto cambió radicalmente al detectarse en muchas partes del mundo niveles gene-

ralizados de radón en interiores y viviendas, especialmente en países con programas de ahorro de energía donde los pobladores cierran herméticamente sus puertas y ventanas, sobre todo durante los meses fríos. En la Figura 2 se puede visualizar el aporte de la dosis de radiación correspondiente al fondo global individual que recibe una persona, que es aproximadamente de 2,69 mSv en un año, de los cuales el radón contribuye con 1,2 mSv.

Si bien los materiales de construcción contienen elementos radiactivos naturales y suelen ser fuentes de emanación de radón, el terreno en el que se asientan las viviendas es casi siempre la fuente más importante.

La presencia de radón está asociada al uranio, por eso su importancia en identificar las características que pueda tener un determinado lugar. El uranio es un elemento químicamente muy activo, capaz de asociarse con muchos otros y desplazarse con ellos, se encuentra en casi todas las rocas y suelos de nuestro planeta, generalmente en pequeñas proporciones de algunos gramos por tonelada, dependiendo del tipo de roca y suelo, salvo en aquellas zonas en las que por su abundancia se explota comercialmente. Por ello se requiere hacer un análisis de la carta geológica, la cual informa el tipo de rocas presentes en la zona. La permeabilidad de los suelos es el parámetro que caracteriza la mayor o menor dificultad para el paso de fluidos y constituye el factor más importante a la hora de evaluar el escape de radón del suelo.



Por ejemplo, las arcillas al contener una concentración de uranio apreciable son fuentes potenciales de radón. Sin embargo, su escasa permeabilidad hace que la cantidad de radón que alcanza la superficie sea muy pequeña. Por el contrario, en rocas muy fracturadas y permeables como pueden ser las calizas, con contenido en uranio diez veces menor que las arcillas, el radón se desplaza fácilmente y puede alcanzar la superficie del suelo en mayor proporción. Lo mismo ocurre con el granito, con un contenido de uranio a veces importante, presenta una estructura que limita a cantidades muy pequeñas la dispersión del radón, cuando el granito está compactado, y aumenta de manera importante cuando se encuentra fracturado o muy triturado.

La segunda fuente de aporte de este gas se halla en los materiales de construcción empleados en las casas. Se ha observado en un mismo país la contribución a la dosis debido a los materiales de construcción puede llegar a ser tan importante como la del suelo.

El radón se disuelve en el agua y se produce el proceso de desorción con facilidad; por esta razón, puede llegar a ser una fuente significativa de radón en aquellos casos en los que proceda de pozos profundos y sin depuración previa.

El radón y sus riesgos

El radio-226 forma parte del decaimiento de la cadena del uranio-238 y decae por emisión alfa a radón-222, un gas noble con un período de semidesintegración de 3,82 días. Antes que termine la cadena de decaimiento para llegar al isótopo estable plomo-206, se generan más de 8 radionucleidos, de los cuales 4 son emisores alfa. Durante el decaimiento se emiten muchas radiaciones beta y gamma con diferentes energías.

Las hijas del radón-222, llamado radón propiamente, son el Po-218, el Bi-214, el Pb-214 y el Po-214; mientras los descendientes del radón-220, llamado torón, son el Po-216, Pb-212, Bi-212 y el Tl-208. Las hijas del radón y del torón que tiene corto período de semidesintegración son las partículas que se depositan en las superficies internas del tracto respiratorio continuando allí su proceso de desintegración dañando las células presentes con las radiaciones emitidas. En la figura 3 puede observar el esquema de decaimiento del U-238, destacándose el Ra-226, radionucleido que da origen al gas radón (Rn-222). En la Figura 4 se puede visualizar el decaimiento del radón-222 dando lugar a la formación de sus hijas, las cuales realmente contribuyen a generar la mayor dosis en la población, en forma natural.

Las personas al respirar el aire incorporan una cantidad de radón, dependiendo del lugar donde se encuentren y la concentración de radón que pudiera haber en ese ambiente. El radón permanece en el aparato respiratorio por muy poco tiempo, mientras que sus descendientes se depositan sobre las superficies internas del tracto respiratorio continuando allí su proceso de desintegración, dañando las células presentes con las radiaciones emitidas. Por esta razón, se puede señalar que el verdadero riesgo se debe no tanto a la presencia del radón, sino a sus hijas que descienden del radón y emiten radiación alfa de alta energía. Estas partículas pueden causar daños al revestimiento de los alveolos pulmonares, siendo la principal amenaza su incidencia en el cáncer al pulmón.

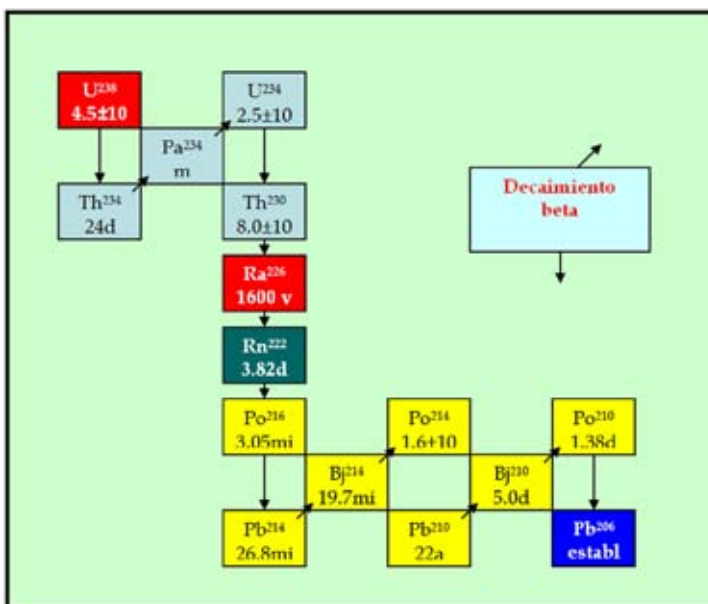


Figura 3. Esquema de decaimiento que da origen al radio-226 y al radón-222.

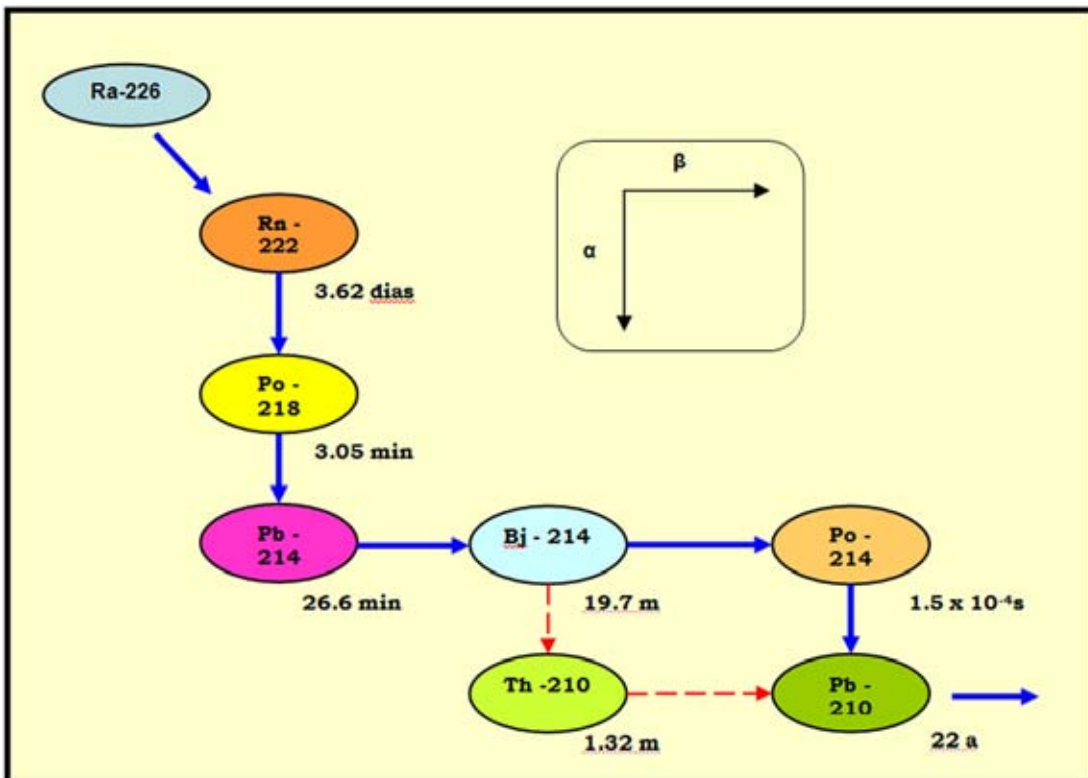
Aspectos regulatorios

Las Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección contra la Radiación Ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, sugieren implementar medidas de actuación, si se alcanzan determinados valores de concentración de activi-

dad de radón en un determinado ambiente. En forma específica señala que los niveles de actuación optimizados relativos a una exposición crónica que incluya la presencia de radón en viviendas deberían, en una gran mayoría de las situaciones, corresponder a una concentración promedio anual de 200 a 600 Bq.m-3 de radón-222 en el aire. Con relación a los ambientes de trabajo, el nivel de actuación para una acción reparadora relativa a situaciones de exposición crónica que incluya la presencia de radón es una concentración anual de 1000 Bq de radón-222 por metro cúbico de aire. La Legislación Nacio-

nal (Reglamento de Protección Radiológica, aprobada mediante D.S. No.009-97-EM del 20 de mayo de 1997) recoge estas recomendaciones internacionales.

A manera de conclusión, podemos afirmar que el radón se encuentra en todas partes en la naturaleza, y para conocer los riesgos que involucra su presencia para una población, resulta necesario realizar mediciones y evaluaciones de radón en diversas zonas de interés público y privado. Con mayor énfasis en lugares donde hay indicios de concentraciones importantes de uranio.





Evaluación de plantas de potabilización de agua y tratamiento de aguas residuales mediante radiotrazadores

Carlos Sebastián, Gerardo Maghella, Enoc Mamani - Instituto Peruano de Energía Nuclear

Un trazador es una sustancia constituida por elementos detectables y medibles que están asociados natural o artificialmente a un sistema bajo investigación. Proporciona información acerca del comportamiento del sistema y permite obtener datos mediante la observación durante su recorrido por el sistema o al salir de ella.

La elección del trazador es de fundamental importancia debido a que, cualquiera sea su naturaleza, debe cumplir con la condición de seguir fielmente al medio marcado, identificándose plenamente con el mismo y sin alterarlo. En el caso de tratarse de un radioisótopo, debe cumplir también con requisitos relativos al tipo y energía de la radiación emitida y al período de semidesintegración.

Teniendo en cuenta que el suministro de agua y el tratamiento de las aguas residuales

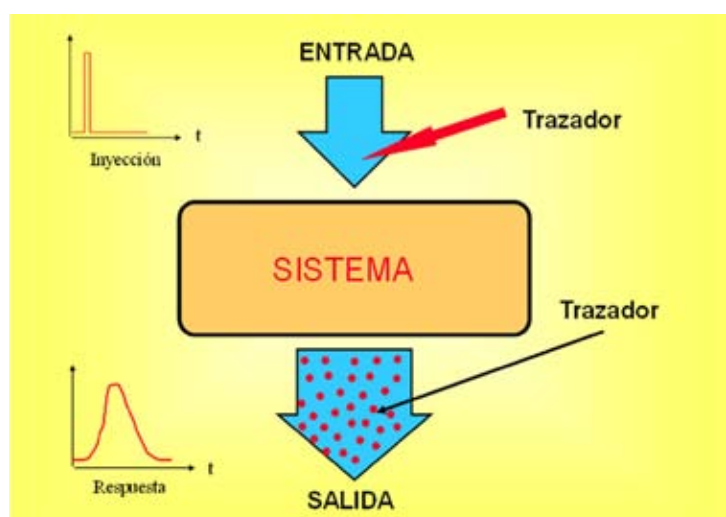


Figura 1. Esquema general donde se representa una experiencia usando trazadores, en el caso de una inyección instantánea (pulso).

son de gran importancia, especialmente en los países en desarrollo, en donde una gran parte del agua residual fluye directamente a los ríos y mares sin ningún tratamiento, el mejoramiento de la operación de las plantas de tratamiento es considerado de alta prioridad.

Utilizando técnicas nucleares a partir del empleo de radiotrazadores, se han investigado 4 instalaciones de tratamiento: desarenadores, floculadores, decantadores y digestores. Dependiendo del proceso estudiado, los resultados experimentales se han interpretado a diferentes niveles de complejidad, desde un simple problema de operación hasta el modelamiento del comportamiento del fluido dentro del proceso.

En la planta de potabilización se han llevado a cabo tres experiencias:

- Un desarenador, que permite remover la material sólida de alta densidad y está compuesto por 12 compartimentos.
- Una batería de floculadotes.
- Una batería de decantadores localizados aguas abajo de los floculadores.

En el caso de las aguas residuales de origen doméstico, se ha evaluado la eficiencia de un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente.



Figura 2. Imagen de una parte de la batería de 12 desarenadores de la Planta de Tratamiento de Aguas a partir del canal único de acceso.

Aplicación de la técnica en las unidades de potabilización de agua

a) Desarenadores

El ajuste de la distribución del tiempo de residencia permite regular la cantidad de sedimento depositado, reduciendo los costos de limpieza y dragado. Para esta prueba, al ingreso del sistema (Figura 2) se ha inyectado un pulso de 3.7×10^8 Bq (10 mCi) de Indio (^{113}In) y se ha registrado a la salida de cada desarenador el contaje de radiación, utilizando detectores de centelleo y un sistema de adquisición de datos. Los tiempos de residencia obtenidos para cada tanque son del mismo orden de magnitud, lo cual refleja la buena eficiencia del canal de distribución o de acceso a los desarenadores. Las diferencias en los tiempos de residencia de los trazadores en los desarenadores, permitieron encontrar zonas de estancamiento.

b) Floculadores hidráulicos

Un floculador es una unidad en donde se añaden aditivos floculantes, proporcionando a su vez a la masa de agua un tránsito desacelerado, permitiendo el crecimiento de floculos y su conservación hasta que salga de la unidad. Para la estimación de la eficiencia son necesarios tres parámetros: la velocidad de sedimentación del sedimento, la velocidad del fluido y la dispersión del flujo. Para la determinación se utilizó un pulso de radiotrazador con una actividad de 1000 Bq de Indio ^{113}In inyectado a la entrada de los floculadores y se registró continuamente a la salida.

La distribución del tiempo de residencia ha sido medida en el floculador para diferentes caudales de agua.

El análisis de los resultados obtenidos muestra distribuciones de tiempos de residencia homogéneos con características de mezcla perfecta en todos los floculadores evaluados, teniendo en cuenta los diferentes caudales de alimentación en cada uno. Además de la buena operación de la unidad se demuestra la no dependencia del volumen de los floculadotes que es del orden de los 1600 m³ en todos los casos

c) Decantadores

La planta tiene 3 decantadores similares. Cada una está compuesta de varias piletas como se muestra en la Figura 4. La tubería de entrada de agua ubicada en el centro del decantador se divide en muchas pequeñas tuberías, las cuales alimentan al fondo de cada pequeña pileta. El agua clara va hacia dos canales principales por rebose en un canal más pequeño, el cual separa cada pileta. Se hizo un experimento con radiotrazadores usando 6 detectores (D1, D2, D3, D4, D5 y D6). Dos de ellos han sido instalados a la salida de dos piletas para investigar el comportamiento de una pileta (D5 y D6). Cuatro de ellos (D1, D2, D3 y D4), han sido colocados en las cuatro salidas principales para modelar el comportamiento de cada parte y para estimar si el flujo está bien distribuido en las diferentes partes del decantador.

Los resultados obtenidos muestran que el caudal está bien distribuido con una dispersión similar en cualquier salida.

Solución de problemas operativos y modelamiento de un digestor anaeróbico de flujo ascendente

Las aguas residuales que provienen de un



Figura 3. Esquema y batería de dos floculadores hidráulicos en la planta de tratamiento de aguas, evaluado con técnicas de trazadores.

grupo de habitantes vecinos a la Universidad Nacional de Ingeniería, son tratadas por una pequeña planta de tratamiento. Después de la remoción de los objetos grandes, las aguas residuales son conducidas a un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente de 356 m³, a través de dos cámaras de entrada, recibiendo cada una de ellas la mitad del flujo. En cada cámara, 12 tuberías cubren una su-

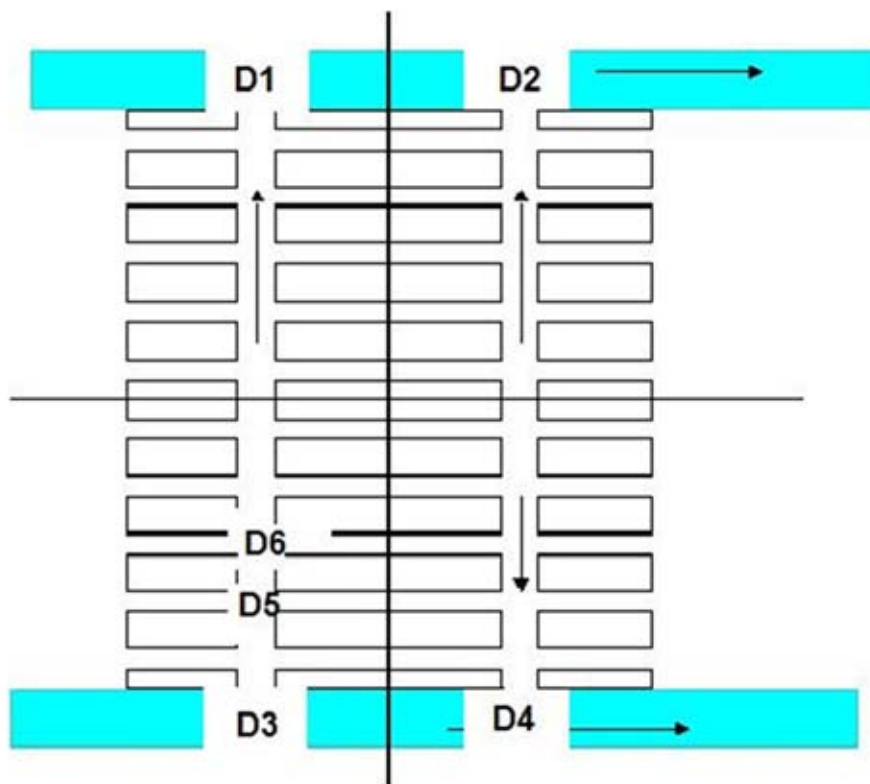


Figura 4. Esquema de la batería de decantadores de la Planta de Tratamiento de Aguas.

perficie de 27 m³ cada una, conduciendo el agua al fondo del reactor. La zona reactiva se estima en 263 m³. El biogas es colectado en dos tuberías fijadas a la cámara de gas y es quemado en un mechero. El agua clara fluye desde lo alto del digestor al fondo de dos sedimentadores de 37 m³ cada uno.

El reactor se ha modelado por mezcladores perfectos en serie con retro-mezcla y un cortocircuito, el cual puede ser debido a alguna tubería de entrada rota. El volumen obtenido usando el modelo es 30 veces más bajo que el geométrico, el cual refleja un volumen muerto muy importante debido al bajo caudal en la tubería de entrada, lo que es suficiente para garantizar el mezclado.

El volumen muerto debajo de la cámara de gas se estima en 56 m³. El exceso de lodo puede ser descargado al lecho de lodo seco ubicado cerca del reactor, por 4 válvulas que permiten obtener el lodo de 4 diferentes alturas (1m, 1.5m, 2m. y 2.5).

Conclusiones de las evaluaciones realizadas

En general podemos señalar que los estudios realizados en las instalaciones de tratamiento han permitido la introducción de mejoras conducentes a la optimización de las operaciones de las distintas unidades de tratamiento de agua, demostrándose la alta eficiencia de los radiotrazadores en este campo de aplicación usando la tecnología nuclear. De los 12 desarenadores estudiados se debe prestar atención a algunos que presentan alto porcentaje de zonas muertas en algunos y cortos circuitos y canalizaciones en otros. Se ha recomendado a los usuarios realizar inspecciones regulares de dichas instalaciones. Asimismo, se recomendó a la empresa de tratamiento de agua con fines de potabilización como a la de tratamiento de aguas residuales, que las instalaciones funcionen lo más uniformes posible, siguiendo las medidas correctivas como resultado de las experiencias realizadas.