

nucleus

No. 14

1993



CONSEJO EDITORIAL

Alejandro Bilbao Alfonso

Wenceslao Carrera Doral

Daniel Codorniú Pujals

Darío Gandarias Cruz

Luis Jova Sed

José Morín Zorrilla

Eloy Padrón Soler

Luis Pérez Tamayo

Antinógenes Romaguera Fernández

Víctor Mario Wong Galán

Director

Rogelio Saunders Almeida

Edición

Ana María Mariña Leyva

Diseño

Ofelia Flores Valdés

Fotografía

Jorge Galiago Gallego

Composición

María Elena Candás Núñez

Producción

Manuel Cortina de la Horra

Publicación semestral de la Comisión
de Energía Atómica de Cuba

Editada por el Centro de Información
de la Energía Nuclear

Ciudad de La Habana, Cuba

Apartado Postal 6093 - La Habana 6

Inscrita como impreso periódico

Permiso No. 82070/184

ISSN: 0864-084X

SUMARIO

Los métodos de autorregresión y de respuesta de escalón en el diagnóstico por ruido para aumentar la seguridad de las centrales electronucleares. <i>J. Teijeiro Amador</i>	2
Análisis por activación con neutrones térmicos de zeolitas naturales cubanas. <i>O. Díaz Rizo, J. C. Suárez García, M. Gómez Saunders, L. I. Zhuk</i>	9
Estudio comparativo de las tasas de dosis gamma ambiental en la República de Cuba. <i>L. Jova Sed, E. Alfonso León, M. Prendes Alonso, O. de la Cruz Rodríguez, R. Avila Moreno, J. Pérez Padrón, L. Pérez Tamayo, J. C. Abdala Díaz, R. Batista, F. Pernicka</i>	14
Un modelo fenomenológico para describir la fluctuación de temperatura en un reactor de agua a presión. <i>O. Aguilar Martínez, M. E. Montesinos Otero</i>	18
Obtención de 1-octacosanol marcado con tritio. <i>L. Vega Matamoros, L. Ducat Pagés, L. García Rodríguez</i>	25

Panorama nuclear

Una crisis subjetiva. <i>Jorge Petinaud Martínez</i>	29
Aplicación del análisis nuclear en la industria nacional. <i>Darío Gandarias Cruz, María Elena Montero Cabrera</i>	36
A medio siglo del reactor de Fermi. <i>Grisel Acosta Acosta</i>	39
Centro puntero de la medicina nuclear cubana. <i>Marta A. Contreras Izquierdo</i>	54

SUMMARY

Auto-regression and step response methods for noise diagnosis to increase safety in nuclear power plants. <i>J. Teijeiro Amador</i>	2
Thermal neutron activation analysis of Cuban natural zeolites. <i>O. Díaz Rizo, J. C. Suárez García, M. Gómez Saunders, L. I. Zhuk</i>	9
A comparative study of environmental gamma-dose rates in the Republic of Cuba. <i>L. Jova Sed, E. Alfonso León, M. Prendes Alonso, O. de la Cruz Rodríguez, R. Avila Moreno, J. Pérez Padrón, L. Pérez Tamayo, J. C. Abdala Díaz, R. Batista, F. Pernicka</i>	14
A phenomenological model to describe the temperature fluctuation in a pressurized water reactor. <i>O. Aguilar Martínez, M. E. Montesinos Otero</i>	18
Obtention of 1-octacosanol labelled with tritium. <i>L. Vega Matamoros, L. Ducat Pagés, L. García Rodríguez</i>	25

Nuclear outlook

A subjective crisis. <i>Jorge Petinaud Martínez</i>	29
Use of nuclear analysis in the national industry. <i>Darío Gandarias Cruz, María Elena Montero Cabrera</i>	36
Half a century after the Fermi reactor. <i>Grisel Acosta Acosta</i>	39
Leading center of nuclear medicine in Cuba. <i>Marta A. Contreras Izquierdo</i>	54



LOS METODOS DE AUTORREGRESION Y DE RESPUESTA DE ESCALON EN EL DIAGNOSTICO POR RUIDO PARA AUMENTAR LA SEGURIDAD DE LAS CENTRALES ELECTRONUCLEARES

J. Teijeiro Amador

Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear, La Habana, Cuba

Resumen

En el presente trabajo se expone el método de respuesta de escalón para calcular la constante de tiempo de un sistema, a partir de la conexión existente entre los coeficientes de su modelo de autorregresión y su función transitoria. Se muestran los resultados generales del cálculo con dicho método (algoritmo ARSTEP) para los termopares, las cámaras de ionización y los *self-powered detectors* utilizados en las centrales electronucleares. Se busca la función transitoria de estos detectores, la de un sistema descrito por una ecuación diferencial de tercer orden y la función transferencial de los procesos dinámicos de la zona activa de un reactor energético. Sobre la base de todo ello se propone un nuevo algoritmo para perfeccionar el sistema de programas ARSTEP y hacerlo aplicable a los detectores neutrónicos.

AUTO-REGRESSION AND STEP RESPONSE METHODS FOR NOISE DIAGNOSIS TO INCREASE SAFETY IN NUCLEAR POWER PLANTS

Abstract

In the present paper the step response method for system time constant calculations is described, revealing the connections between auto-regression coefficients and transient functions for a given system. The general calculational results obtained through this method (ARSTEP algorithm) for thermocouples, ionization chambers, and self-powered detectors used in nuclear power plants are given. The typical transfer function for these detectors and for the physical system described by means of a third order differential equation, as well as transfer function for dynamical processes of reactor core is found. On these basis, and with the aim to make it useful also for the neutronic sensors, a new algorithm for improving the ARSTEP code system is proposed.

Key words: PWR type reactors, temperature noise, in core instruments, measuring instruments, reactor noise.

INTRODUCCION

En los reactores nucleares es importante conocer, desde el punto de vista de la seguridad, si los diferentes sistemas de medición y control trabajan adecuadamente, con los tiempos de respuesta requeridos. En la actualidad, se chequea continuamente la parte electrónica de dichos equipos mediante señales de control; pero para inspeccionar la parte que propiamente recibe las fluctuaciones de las magnitudes físicas a medir como señales de entrada, es necesario provocar variaciones tipo de estos parámetros (por ej., funciones de escalón), a fin de comprobar las propiedades dinámicas de respuesta del equipo de medición. Las posibilidades de realizar estos exámenes periódicos son muy limitadas, en el propio reactor, por sus medidas de seguridad y en los laboratorios, por la alta activación de los equipos y porque implica la salida de servicio del reactor durante su traslado y chequeo.

Por esto se buscan métodos teóricos que permitan determinar las características dinámicas de estos sistemas, conociendo solo las señales de salida de ellos. Uno de estos métodos es el de respuesta de escalón, que apoyándose en las técnicas autorregresivas para una sola variable, calcula la función transitoria y la constante de tiempo del sistema, a partir de los coeficientes del modelo de autorregresión obtenidos, suponiendo que el sistema trabaja en estado estacionario durante el tiempo de medición de las señales de ruido a utilizar y que las excitaciones que recibe son un ruido blanco.

METODO DE RESPUESTA DE ESCALON

Las propiedades dinámicas de un sistema se pueden caracterizar, además de por la función transferencial $G(s)$, por la función transitoria impulsiva $g(t)$, que se define como la señal de respuesta ante una excitación

de impulso de Dirac $\delta(t)$ [1], y por la función transitoria $h(t)$ o función de respuesta de escalón (respuesta del sistema ante una excitación de escalón unitario $1(t)$) [1]. La relación entre estas dos últimas funciones se puede expresar con la siguiente ecuación [1]:

$$g(t) = h'(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{h(t) - h(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (1)$$

Utilizando $g(t)$, y dada una señal de entrada cualquiera $x(t)$, se puede obtener la correspondiente señal de respuesta del sistema $y(t)$ como [1]:

$$y(t) = \int_0^t g(\tau) x(t - \tau) d\tau \quad (2)$$

Al trabajar con señales digitalizadas con un determinado paso Δt , las ecuaciones (1) y (2) pueden escribirse aproximadamente como:

$$h(k) = \Delta t g(k) + h(k-1) \quad (3)$$

$$y(k) = \sum_{i=0}^{n'} \Delta t g(i) x(k-i) \quad (4)$$

La ecuación del modelo de autorregresión para una sola variable se puede escribir como [2-4]:

$$y(k) = \sum_{j=1}^n a(j) y(k-j) + x(k) \quad (5)$$

donde:

n : orden del modelo de autorregresión;

$a(j)$: coeficientes del modelo de autorregresión de orden n .

Sustituyendo (5) en (4), se puede obtener la relación entre los coeficientes del modelo de autorregresión y la función transitoria impulsiva del sistema:

$$g(k) = \begin{cases} 0 & , \text{si } k < 0 \\ 1/\Delta t & , \text{si } k = 0 \\ \sum_{i=1}^k a(i) g(k-i) & , \text{si } k = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n a(i) g(k-i) & , \text{si } k > n \end{cases} \quad (6)$$

Los coeficientes del modelo de autorregresión se pueden calcular por el método de recursión de Burg a

partir de los valores de salida del sistema $y(k)$ medidos cuando este trabaja en estado estacionario y considerando que las excitaciones o señales de entrada que recibe son un ruido blanco [4].

El sistema de programas ARSTEP permite calcular, mediante el método mencionado, el orden óptimo para el modelo de autorregresión y sus coeficientes. A partir de estos últimos es posible determinar valores discretos de $h(t)$, según las relaciones (3) y (6).

COMPORTAMIENTO DINAMICO DE ALGUNOS DETECTORES EMPLEADOS EN LAS CENTRALES ELECTRONUCLEARES

El comportamiento dinámico de los termopares, y más exactamente de su parte sensible, depende fundamentalmente de la forma y espesor de la funda protectora que los rodea y de las condiciones de transferencia de calor entre la funda y el medio. Este comportamiento puede modelarse con buena aproximación por un elemento aperiódico proporcional [5], o sea puede describirse por una ecuación diferencial de primer orden:

$$T_T \frac{d U_T(t)}{dt} + U_T(t) = K_T \vartheta_{mT}(t) \quad (7)$$

donde:

$U_T(t)$: voltaje a la salida del termopar;

$\vartheta_{mT}(t)$: temperatura del medio (moderador) alrededor de la punta del termopar;

T_T : constante de tiempo del termopar;

K_T : coeficiente transferencial entre la temperatura del moderador y el voltaje a la salida del termopar.

Su función transferencial es de la forma:

$$G_T(s) = \frac{K_T}{T_T s + 1} \quad (8)$$

y la transitoria:

$$h_T(t) = K_T (1 - e^{-t/T_T}) \quad (9)$$

Cámaras de ionización

Las cámaras de ionización (CI), cuando trabajan en régimen de corriente, poseen un circuito integrador de impulsos formado por una resistencia y un condensador (de capacidad C) conectados en paralelo [6]. Aplicando la primera ley de Kirchhoff en el nodo y sustituyendo las corrientes en función del voltaje de salida y el flujo

neutrónico incidente en la CI [7], se obtiene la ecuación diferencial de primer orden que describe a este sistema:

$$T_{CI} \frac{d U_{CI}(t)}{dt} + U_{CI}(t) = K_{CI} \phi_{CI}(t) \quad (10)$$

donde:

T_{CI} = RC (constante de tiempo de la CI);

U_{CI} : voltaje de salida de la CI;

K_{CI} : coeficiente de proporcionalidad de la CI;

$\phi_{CI}(t)$: flujo neutrónico incidente en la CI.

Por tanto, las cámaras de ionización también pueden modelarse por un elemento aperiódico proporcional de función transferencial:

$$G_{CI}(s) = \frac{K_{CI}}{T_{CI} s + 1} \quad (11)$$

y función transitoria:

$$h_{CI}(t) = K_{CI} (1 - e^{-t/T_{CI}}) \quad (12)$$

Self-powered detectors

El comportamiento dinámico de los *self-powered detectors* (SPD) está determinado por el proceso de

desintegración β del isótopo radiactivo que aparece por el efecto del flujo neutrónico en el electrodo interno del detector [8]. Por esto la relación entre la corriente a la salida del SPD y el flujo neutrónico incidente en el SPD es [8, 9]:

$$I_{SPD}(t) = K_{SPD} \phi_{SPD}(t) (1 - e^{-\lambda t}) \quad (13)$$

donde:

I_{SPD} : corriente a la salida del SPD;

K_{SPD} : coeficiente de proporcionalidad;

$\phi_{SPD}(t)$: flujo neutrónico incidente en el SPD;

λ : constante de desintegración β del isótopo que aparece por la activación del emisor.

Por tanto, definiendo $T_{SPD} = 1/\lambda$ (constante de tiempo del SPD), la función $h(t)$ del SPD puede escribirse como:

$$h_{SPD}(t) = K_{SPD} (1 - e^{-t/T_{SPD}}) \quad (14)$$

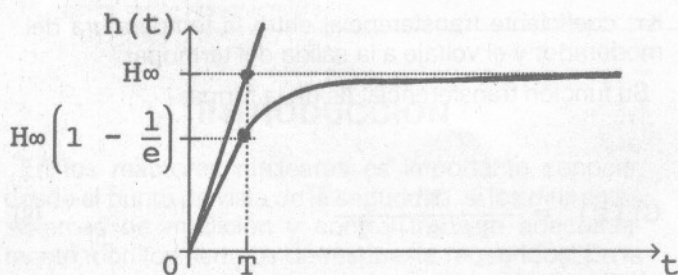
que también corresponde con la de un elemento aperiódico proporcional con función transferencial:

$$G_{SPD}(s) = \frac{K_{SPD}}{T_{SPD} s + 1} \quad (15)$$

CALCULO DE LA CONSTANTE DE TIEMPO CON EL PROGRAMA ARSTEP

El último paso en el algoritmo de cálculo ARSTEP a partir de $h(t)$ calculada es determinar el valor de la constante de tiempo del sistema analizado, suponiendo que lo describe una ecuación diferencial de primer orden y que por tanto su $h(t)$ tiene la siguiente forma general:

$$h(t) = H_{\infty} (1 - e^{-(1/T)t}) \quad (16)$$



$$h(t=T) = H_{\infty} (1 - 1/e) \quad (17)$$

Como se ve, es una forma monótona creciente que tiende al valor estacionario H_{∞} aperiódicamente. Después, se determina la constante de tiempo T del sistema analizado, con ayuda de la relación (17) directamente de los valores $h(t)$ calculados, o con una simple interpolación.

En el trabajo [10] se presentan los resultados de los cálculos de la constante de tiempo de los termopares (utilizados en un reactor VVER-440), las CI y los SPD (de un reactor alemán PWR) con el sistema de programas ARSTEP. Con las señales de los termopares se observó en todos los casos calculados que la forma de $h(t)$ obtenida corresponde con bastante aproximación a la esperada. Sin embargo, en los detectores de neutrones, las funciones transitorias obtenidas no son aperiódicas y las oscilaciones que aparecen en las de los SPD son considerables.

Según lo visto, las funciones transitorias obtenidas no se corresponden con las de los detectores analizados. Además, de las consideraciones del método se comprende que son las funciones de unos sistemas cuyas excitaciones de entrada pueden considerarse como un ruido blanco. Es decir, estas funciones no son solo las de estos detectores,

sino también las de los sistemas formados por ellos y por el que representa a los procesos de retroalimentación y multiplicación neutrónica que ocurren en la zona activa, cuya excitación de entrada se aproxime más a un ruido blanco que las fluctuaciones del flujo neutrónico incidente en cada detector.

APROXIMACION DE LA FUNCION TRANSFERENCIAL DE LOS PROCESOS DE RETROALIMENTACION Y MULTIPLICACION NEUTRONICA DE LA ZONA ACTIVA

Con ayuda de la cinética puntual podemos analizar las variaciones de la temperatura del moderador $\vartheta_m(t)$ y del flujo de neutrones térmicos $\phi(t)$ en el medio multiplicador y moderador de la zona activa, considerando esta como un punto [11], y teniendo en cuenta la difusión de los neutrones y del calor, la influencia de estas variaciones sobre las magnitudes que inciden directamente en los diferentes detectores.

El comportamiento dinámico de cada uno de esos procesos difusivos puede describirse por una ecuación diferencial de primer orden, o sea, por un elemento

aperiódico proporcional con constante de tiempo T_9 , T_8 y T_7 , respectivamente (Fig. 1).

El efecto sobre la reactividad de la desaparición y el surgimiento de neutrones térmicos en cada punto debido al carácter estocástico de la difusión, la absorción y la moderación de los neutrones rápidos se considerará como un ruido estocástico también.

Como el método exige que el reactor trabaje en estado estacionario durante la medición de las señales a utilizar, las fluctuaciones de la reactividad $\rho(t)$ deben tener valor medio nulo. Teniendo esto en cuenta, supondremos que el ruido en la reactividad $\rho_z(t)$ (que representa el efecto sobre la reactividad del carácter estocástico de la difusión, absorción y moderación de los neutrones) es un ruido blanco.

Dada la condición estacionaria del reactor, no hay que considerar el efecto de la variación de las posiciones de las barras absorbentes, ni de la concentración del boro disuelto en el moderador. Comparando con el tiempo de medición de las señales de ruido, los efectos de retroalimentación del quemado del combustible, del xenón y del samario son despreciables. Por tanto, el diagrama de bloque de los instrumentos de medición y de la zona activa es el que muestra la Fig. 1.

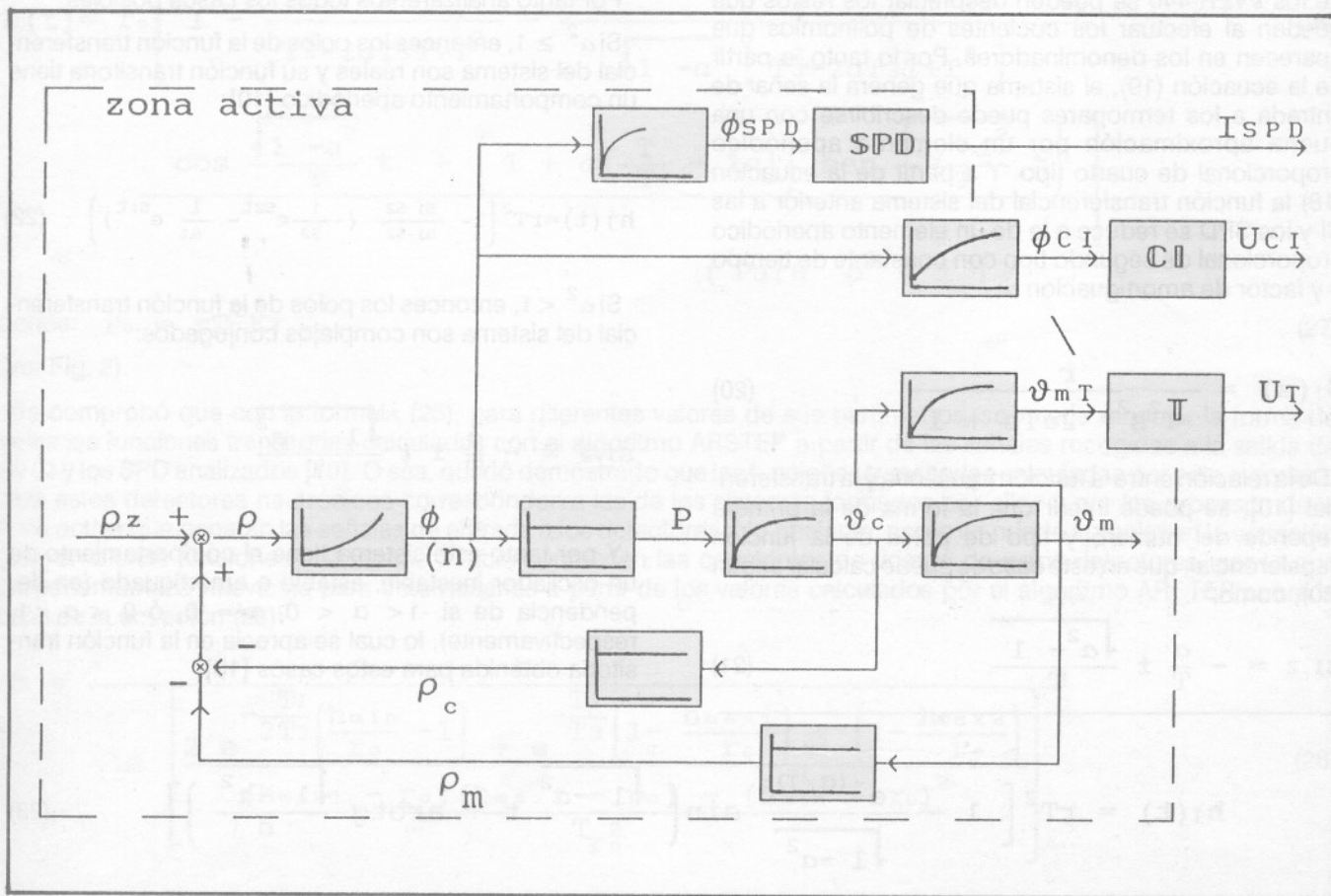


Figura 1

Diagrama de bloque de los procesos dinámicos de la zona activa (trabajando en estado estacionario) según el modelo puntual, y sus efectos sobre las CI, los SPD y los termopares (T).

Conociendo la función transferencial de cada elemento [11], se buscó la resultante de estos sistemas, cuya señal de entrada es el ruido en la reactividad $\rho_z(t)$ y la de salida las que entran a cada uno de los detectores $\phi_{SPD}(t)$, $\phi_{CI}(t)$ y $\vartheta_{mT}(t)$, respectivamente [10]:

$$G_J(s) = \frac{K_1}{\frac{A_1 s^4 + A_2 s^3 + A_3 s^2 + A_4 s + A_5}{B_1 s^3 + B_2 s^2 + B_3 s + 1}} \left(\frac{K_n}{T_n s + 1} \right) \quad (18)$$

$$K_n = \begin{cases} K_8, & \text{si } j = II \\ K_9, & \text{si } j = I \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{(sistema anterior a las CI)} \\ \text{(sistema anterior a los SPD)} \end{matrix}$$

$$T_n = \begin{cases} T_8, & \text{si } j = II \\ T_9, & \text{si } j = I \end{cases}$$

$$G_{III}(s) = \frac{K_1 K_2 K_c K_m K_7}{\frac{C_1 s^5 + C_2 s^4 + C_3 s^3 + C_4 s^2 + C_5 s + C_6}{T_1 s + 1}} \quad (19)$$

(función transferencial del sistema anterior a los termopares).

Todos los coeficientes aparecen definidos en [10] y dependen en general de las características físico-neutrónicas de la zona activa en cada momento.

En los tres casos se comprobó que con valores reales de los VVER-440 se pueden despreciar los restos que quedan al efectuar los cocientes de polinomios que aparecen en los denominadores. Por lo tanto, a partir de la ecuación (19), el sistema que genera la señal de entrada a los termopares puede describirse con una buena aproximación por un elemento aperiódico proporcional de cuarto tipo. Y a partir de la ecuación (18) la función transferencial del sistema anterior a las CI y los SPD se reduce a la de un elemento aperiódico proporcional de segundo tipo con constante de tiempo T y factor de amortiguación α :

$$G_J(s) = \frac{r}{T^2 s^2 + 2\alpha T s + 1} \quad (20)$$

De la relación entre la función transitoria y la transferencial [10], se puede inferir que la forma de la primera depende del número y tipo de polos de la función transferencial, que en este caso se puede calcular según (20), como:

$$s_{1,2} = -\frac{\alpha}{T} \pm \frac{\sqrt{\alpha^2 - 1}}{T} \quad (21)$$

Según el valor del coeficiente de amortiguación los dos polos serán reales o complejos conjugados, y dicho valor depende de las características de la zona activa en cada momento [10].

Por tanto analizaremos todos los casos posibles:

Si $\alpha^2 \geq 1$, entonces los polos de la función transferencial del sistema son reales y su función transitoria tiene un comportamiento aperiódico [10]:

$$h_J(t) = rT^2 \left(1 - \frac{s_1 s_2}{s_1 - s_2} \left(\frac{1}{s_2} e^{s_2 t} - \frac{1}{s_1} e^{s_1 t} \right) \right) \quad (22)$$

Si $\alpha^2 < 1$, entonces los polos de la función transferencial del sistema son complejos conjugados:

$$s_{1,2} = -\frac{\alpha}{T} \pm i \frac{\sqrt{1 - \alpha^2}}{T}$$

Y por tanto este sistema tiene el comportamiento de un oscilador inestable, estable o amortiguado (en dependencia de si $-1 < \alpha < 0$, $\alpha = 0$, ó $0 < \alpha < 1$, respectivamente), lo cual se aprecia en la función transitoria obtenida para estos casos [10]:

$$h_J(t) = rT^2 \left[1 - \frac{e^{-(\alpha/T)t}}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \sin \left(\frac{\sqrt{1 - \alpha^2}}{T} t + \arctg \frac{\sqrt{1 - \alpha^2}}{\alpha} \right) \right] \quad (23)$$

Pero como los detectores neutrónicos se encuentran en serie con estos sistemas que les anteceden, la función transferencial resultante es el producto de la del elemento aperiódico proporcional de segundo tipo con la de uno de primer tipo que representa el comportamiento dinámico de la CI o del SPD (su coeficiente transferencial y su constante de tiempo se simbolizarán a partir de ahora como K_3 y T_3 , respectivamente):

$$G(s) = \left(\frac{r}{T^2 s^2 + 2aTs + 1} \right) \left(\frac{K_3}{T_3 s + 1} \right) \quad (24)$$

Esta función transferencial del sistema resultante que incluye a los detectores, también puede escribirse como la de un elemento aperiódico proporcional de tercer tipo, que se puede modelar por una ecuación diferencial de tercer orden y cuya función transitoria tiene la forma [10]:

$$h(t) = r_o \left[1 + \frac{\left(\frac{1}{s_1}\right)^2 e^{s_1 t}}{\left(\frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1}\right) \left(T_3 - \frac{1}{s_1}\right)} + \frac{\left(\frac{1}{s_2}\right)^2 e^{s_2 t}}{\left(\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2}\right) \left(T_3 - \frac{1}{s_2}\right)} - \frac{T_3^2 e^{-t/T_3}}{\left(\frac{1}{s_1} - T_3\right) \left(\frac{1}{s_2} - T_3\right)} \right] \quad (\text{Para } a^2 \geq 1) \quad (25)$$

$$h(t) = r_o \left[1 - \frac{T_3^2 e^{-t/T_3}}{T_3^2 - 2aT_3T + T^2} - \frac{TT_3 e^{-(a/T)t} \left(\sqrt{1-a^2} \left(\frac{T}{T_3} - 2a \right) \right)}{\sqrt{1-a^2} \left(T_3^2 - 2aT_3T + T^2 \right)} \cdot \cos \frac{\sqrt{1-a^2}}{T} t + \left(1 + a \left[\frac{T}{T_3} - 2a \right] \right) \sin \frac{\sqrt{1-a^2}}{T} t \right] \quad (\text{Para } a^2 < 1) \quad (26)$$

$$\text{donde: } r_o = rT^2 K_3 \quad (27)$$

(Ver Fig. 2).

Se comprobó que con la fórmula (26), para diferentes valores de sus parámetros, se puede modelar la forma de todas las funciones transitorias calculadas con el algoritmo ARSTEP a partir de las señales recogidas a la salida de las CI y los SPD analizados [10]. O sea, quedó demostrado que las funciones transitorias calculadas por este algoritmo para estos detectores neutrónicos corresponden a las de los sistemas formados por ellos y por los procesos de la zona activa que generan las señales de entrada a los detectores. No obstante, como se puede apreciar en la ecuación (26), en dichas funciones transitorias también aparecen las constantes de tiempo de estos detectores, por lo que proponemos una nueva vía para determinarlas a partir de los valores calculados por el algoritmo ARSTEP sobre la base de la ecuación (26):

$$T_3 = \frac{t_1}{\ln \left[\frac{2 e^{-\frac{T_1}{2T_3} \left(\frac{h_{\min}}{r_o} - 1 \right)} + e^{-\frac{T_1}{T_3} \left(1 - \frac{h_{\max 1}}{r_o} \right)} + \left(1 - \frac{h_{\max 2}}{r_o} \right)}{\frac{(h_{\max 1} - r_o)(h_{\max 2} - r_o) - (h_{\min} - r_o)^2}{r_o^2}} \right]} \quad (28)$$

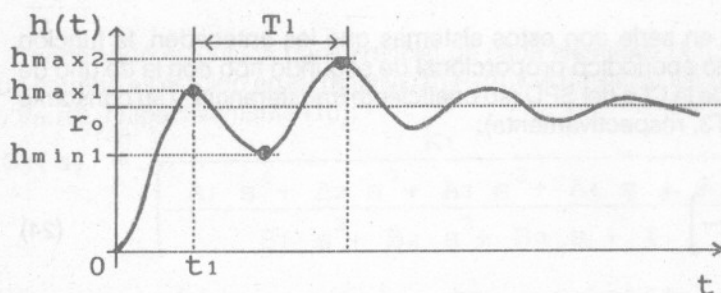


Figura 2

Forma más general de la función transitoria de un sistema descrito por una ecuación diferencial de tercer orden con el valor del factor de amortiguación (α) entre cero y uno (fórmula (26)).

De acuerdo con esta fórmula, tomando el valor del primer máximo de la función transitoria calculada $h_{\max 1}$ y el instante de tiempo en que este se alcanza t_1 , el valor del primer mínimo $h_{\min}$, el valor del segundo máximo $h_{\max 2}$, el período de oscilación t_l , y el valor estacionario r_o , se puede calcular de forma iterativa la constante de tiempo de las CI y los SPD utilizados en los reactores PWR.

RESULTADOS Y DISCUSION

En este trabajo comprobamos que solo con las señales de ruido de los termopares se obtuvieron funciones transitorias aperiódicas, características de los termopares y que estas se corresponden con la presupuesta en el método de cálculo de la constante de tiempo de la versión inicial del algoritmo ARSTEP.

En las señales con componentes oscilatorios pronunciados (con uno o más picos bien definidos en su espectro) como las de los detectores neutrónicos analizados, se obtuvieron también funciones transitorias con oscilaciones periódicas, y por consiguiente el método inicialmente propuesto para calcular la constante de tiempo no es válido para ellas.

Es lógico pensar que las oscilaciones de $\phi(t)$ provocan fluctuaciones de potencia $P(t)$ y de temperatura $\vartheta_c(t)$ y $\vartheta_m(t)$ consecutivamente (Fig. 1), que también debían reflejarse en $U_T(t)$; sin embargo, las señales de los termopares analizados en este trabajo no se tomaron al mismo tiempo que las de los detectores neutrónicos, e incluso no pertenecen al mismo reactor. No obstante, es de esperar que como entre $\phi(t)$ y $\vartheta_m(t)$ hay tres elementos aperiódicos proporcionales (Fig. 1) que funcionan como retardadores y por tanto amortiguadores de las oscilaciones, estas no se hagan sentir tanto en $\vartheta_m(t)$. Además, por el grosor de las fundas de los termopares que se usan en los reactores de las centrales electronucleares (que le provocan una constante de tiempo no despreciable), estos tampoco serían capaces de percibir en toda su amplitud oscilaciones de temperatura tan rápidas. Luego, las señales de excitación de los termopares se pueden considerar con una mayor aproximación, como un ruido blanco y por tanto la función transitoria obtenida por el algoritmo

ARSTEP se corresponde con la propia de los termopares.

En los detectores neutrónicos sobre la base del diagrama de bloque de la zona activa (Fig. 1) y considerando $\rho_z(t)$ como un ruido blanco, se obtuvo que este sistema anterior a las CI y los SPD puede aproximarse a un elemento aperiódico proporcional de segundo tipo con función transferencial de polos complejos conjugados, y por tanto, que unido a los detectores posee la característica dinámica de uno de tercer tipo, cuya función transitoria tiene precisamente la forma de las obtenidas con el algoritmo ARSTEP para los detectores neutrónicos analizados.

CONCLUSIONES

La versión inicial del algoritmo ARSTEP se puede utilizar solo para calcular la constante de tiempo de los termopares usados en los reactores nucleares. Sobre la base de que el sistema, cuya salida son las señales de ruido de los detectores neutrónicos y su entrada un ruido blanco, puede describirse por una ecuación diferencial de tercer orden con respecto al tiempo, se propone un nuevo método para calcular la constante de tiempo (fórmula (28)) para perfeccionar este sistema de programas y aplicarlo también a las CI y los SPD utilizados en las centrales electronucleares.

En estos momentos el sistema ya ha sido habilitado de un nuevo bloque que reconoce la forma de la función transitoria obtenida y basado en ello decide automáticamente el método de cálculo de la constante de tiempo que debe seguir.

BIBLIOGRAFIA

- [1] FODOR, G., A Laplace transzformáció műszaki alkalmazása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1966) 15, 23, 32-38, 114.
- [2] LUX, I., MESKO, L. y otros, Autoregressziós reaktordiagnosztikai módszer elméleti és alkalmazása. KFKI, Budapest (1983).
- [3] UPADHYAYA, B. R., KITAMURA, M. y otros, Multivariate signal analysis algorithms for process monitoring and parameter estimation in nuclear reactors. Department of Nuclear Engineering, University of Tennessee, Knoxville, USA.
- [4] MESKO, L., Az autoregressziós spektrumbecslés elméletének alapjai és a zajdiagnosztikai alkalmazásának feltételei. KFKI, Budapest.
- [5] HELM, L., Ipari folyamatok műszerezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1966) 783-791.
- [6] HARRER, J. M., Nuclear reactor control engineering. D. Van Nostrand Company, INC., New Jersey-Toronto-New York-London, 140-162.
- [7] DESI, S., Nukleáris detektorok. Tankönyvkiadó, Budapest (1966) 7-42, 155-165.
- [8] HARRER, J. M., Nuclear power reactor instrumentation systems (handbook). U. S. Atomic Energy Commission (1973) 50-56.
- [9] BOLAND, J. F., Nuclear reactor instrumentation (in-core). Gordon and Breach Science Publishers, New York-London-Paris, 158-160.
- [10] TEIJEIRO, J., Diagnosztikai célú mérések kiértékelése és értelmezése atomerőművekben. KFKI-Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest (1990).
- [11] PETZ, E., Atomerőművi blokkok szabályozása. Ipari Szakmai Továbbképző Intézet-Paksi atomerőmű vállalat, Budapest (1984) 41-81.

ANALISIS POR ACTIVACION CON NEUTRONES TERMICOS DE ZEOLITAS NATURALES CUBANAS

O. Díaz Rizo¹, J. C. Suárez García¹, M. Gómez Saunders¹, L. I. Zhuk²

¹Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, La Habana, Cuba

²Instituto de Física Nuclear, Tashkent, Uzbequistán

Resumen

Se estudió la composición elemental de muestras de cuatro importantes yacimientos de zeolitas cubanas utilizando la técnica del análisis por activación neutrónica y se determinó la presencia de 29 elementos. La comparación de los resultados con los obtenidos por otras técnicas analíticas y con muestras de otros tipos de minerales fue satisfactoria. Las concentraciones de los elementos minoritarios determinados (Ba, Sr y Zn) son semejantes a los valores permitidos para suelo y consumo animal.

THERMAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS OF CUBAN NATURAL ZEOLITES

Abstract

The elemental composition of samples from four important Cuban zeolite wells has been studied by mean of neutron activation analysis. The presence of 29 elements was determined and in comparison with other analytical techniques good agreement was achieved. In comparison with samples of other types of minerals similar results were obtained. Minor element concentrations (Ba, Sr and Zn) was within the permissible levels for soil and animal food.

Key words: multi-element analysis, neutron activation analysis, zeolites, toxicity, rare earths.

INTRODUCCION

La zeolita natural, conocida también como el mineral del siglo XX, se utiliza cada día más por la diversidad de aplicaciones que tiene: secado y purificación de gases acidulados, absorción diferenciada de gases como el nitrógeno y el oxígeno, separación del tolueno del benceno, piedra de construcción, acondicionador de suelos, complemento dietético para cerdos y aves de corral, purificación de aguas residuales, deshidratación, sorbente de sustancias radiactivas, recobrado de amoníaco en aguas albañales, construcción de máquinas de refrigeración, entre otros usos [1].

En los últimos años, y dado las grandes reservas de zeolitas naturales existentes, nuestro país ha incrementado la utilización de este mineral en diversos sectores económicos como la alimentación animal, la industria azucarera, la salud pública y la agricultura.

Además, se realizan estudios que permitan caracterizar la zeolita lo mejor posible. La investigación de muestras de cuatro yacimientos importantes de zeolitas cubanas se llevó a cabo mediante el análisis por activación con neutrones térmicos procedentes de un reactor, teniendo en cuenta las ventajas de este método [2] respecto a los diferentes métodos químicos de análisis existentes en el país y a otras técnicas nucleares ya aplicadas a las zeolitas nacionales [3].

MATERIALES Y METODOS

Se emplearon rocas zeolíticas de cuatro yacimientos: El Piojillo (Villa Clara), con un 90% de clinoptilolita; Palmarito (Santiago de Cuba), con un 80-90% de mordenita; Tasajera (Holguín), con un 40% de mordenita y un 40% de clinoptilolita y San Andrés (Holguín), que es fundamentalmente clinoptilolita. Estos dos tipos de zeolitas (clinoptilolita y mordenita), junto con la heulandita, son las variedades más abundantes en nuestro país. Las muestras de El Piojillo y Palmarito son puntuales, mientras que las de Tasajera y San Andrés son industriales.

La tabla 1 ilustra la composición química de muestras de los yacimientos estudiados, obtenida por espectrofotometría de absorción atómica (Piojillo y Palmarito) con un error del 5% para determinar el Si y de un 3% para el resto [4] y por ICP (Tasajera) en el control de muestras para la exportación (Centraal Chemisch Lab. van het Inst. van Aardewetenschappen Utrecht, 6/7/1988, comunicación privada). Valores muy similares a estos reportan estudios realizados en zeolitas para el tratamiento de desechos radiactivos [5, 6].

Las muestras de interés se analizaron en dos reactores: IBR-2 (16 MW, $1 \times 10^{12} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$) del Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares de Dubna [7] y VVR-M (10 MW, $5 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$) del Instituto de Física

Tabla 1
Composición química de muestras de los yacimientos estudiados (en %)

	Piojillo	Palmarito	Tasajera
SiO ₂	64,17	65,78	57,69
TiO ₂	0,36	0,27	0,3
Al ₂ O ₃	10,89	10,81	9,9
Fe ₂ O ₃	2,47	1,71	1,84
CaO	4,04	3,86	5,16
MgO	1,23	0,96	1,54
Na ₂ O	1,28	2,02	1,13
K ₂ O	0,90	0,79	1,1
BaO	-	-	0,08
SrO	-	-	0,04
ZnO	-	-	0,006
Cr	-	-	0,0002
Co	-	-	0,0002

Tabla 2
Datos característicos de los elementos determinados mediante análisis por activación neutrónica

Elemento	Núclido	T _{1/2}	E _γ (keV)	SOIL-7(g/g)	Error(%)
Ca	Sc47	3,35 d	159,4	16,3E-1	1,5
Fe	Fe59	44,50 d	1099,2	2,57E-2	0,2
Na	Na24	15,02 h	1369,0	2,4E-9	4,1
Ba	Ba131	11,80 d	496,3	1,59E-4	20
Sr	Sr85	64,84 d	514,0	1,08E-4	10
Zn	Zn65	243,9 d	1116,0	1,04E-4	2,9
Co	Ce141	32,5 d	145,4	6,10E-5	10
Cr	Cr51	27,7 d	320,0	6,00E5	15
Rb	Rb86	18,66 d	1076,6	5,10E-5	1,0
Nd	Nd147	10,98 d	531,0	3,00E-5	23
La	La140	40,27 h	1596,5	2,80E-5	3,6
As	As76	26,32 h	559,1	1,34E-5	1,5
Co	Co60	5,27 y	1173,1	8,90E-6	8,9
Sc	Sc46	83,83 d	889,2	8,30E-6	12,4
Th	Pa233	27 d	311,9	8,20E-6	16,1
Br	Br82	35,30 h	776,5	7,00E-6	14,3
Cs	Cs134	2,06 y	604,7	5,40E-6	13,6
Hf	Hf181	42,40 d	482,0	5,10E-6	5,8
Sm	Sm153	46,70 h	103,2	5,10E-6	10,0
U	Np239	2,36 d	228,2	2,60E-6	25,0
Mo	Mo99	66,00 h	140,5	2,50E-6	20,0
Yb	Yb169	32,02 d	177,2	2,40E-6	16,3
Sb	Sb124	62,20 d	1691,0	1,70E-6	5,9
Eu	Eu152	13,33 y	1407,5	1,00E-6	20,0
Ta	Ta182	115 d	1221,3	0,52E-6	25,0
Tb	Tb160	72,30 d	879,4	6,00E-7	16,7
Hg	Hg203	46,90 d	279,0	4,00E-7	25,0
Gd	Tb161	6,90 d	74,6	-	-
Tm	Tm170	128,60 d	84,3	-	-

Nuclear de la Academia de Ciencias de Uzbekistán [8]. En ambos casos las muestras se secaron a 105°C, pulverizadas en un molino de ágata y colocadas en portamuestras de polietileno y papel de aluminio en porciones de 50-80 mg. Durante el estudio de las muestras de interés se procesaron 12 espectros de activación y otros tantos para las calibraciones (energética y en eficiencia) de los sistemas de detección.

Se realizaron irradiaciones para estudiar los elementos minoritarios con isótopos de larga vida (Ti = 100 horas). Los espectros se colectaron mediante detectores de semiconductores (HPGe y Ge(Li) con 60-70 cm³ de volumen efectivo), cuyas resoluciones oscilaron entre 2,8 y 3,2 keV para la línea de 1332 keV del ⁶⁰Co, a los 7-10 y 30 días de enfriamiento. Todos los detectores estaban enlazados a sistemas automatizados con ADC de 4096 canales acoplados a IBM-PC. Para el procesamiento de los espectros se utilizaron, de forma independiente, el programa SPAN [9] en su variante TPA y el programa ACTIV [10].

Las concentraciones de los elementos se determinaron por vía relativa (excepto el Gd y el Tm, que se determinaron por vía absoluta) empleando la muestra certificada SOIL-7 [11]. La tabla 2 muestra los datos característicos de los elementos determinados [12] y las concentraciones de la muestra certificada. El flujo neutrónico se monitoreó con láminas de Zr.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados del análisis en dos reactores de forma independiente tuvieron una buena correlación, con una desviación media cuadrática inferior al 5% (tabla 3).

La tabla 4 presenta las concentraciones de los elementos determinados en las muestras zeolíticas de los yacimientos estudiados. Los errores de las concentraciones incluyen los errores de las concentraciones de los elementos dados en la referencia del estándar y además el error del procesamiento de los espectros. Los errores en los elementos Gd y Tm, determinados por vía absoluta, son estimados y comprenden, tanto los errores de la determinación de la eficiencia del sistema espectrométrico como los de la medición del flujo

Tabla 3
Comparación de los resultados obtenidos en los reactores
IBR-2 y VVR-M (en $\mu\text{g/g}$)

Elemento	IBR-2	VVR-M
Ba	464	434
Zn	97	<100
Ce	19,0	19,3
La	11,4	11,3
Co	2,73	2,87
Sc	6,6	7,5
Th	1,83	2,51
Hf	4,6	4,7
Yb	2,55	2,36
Eu	1,45	1,82

neutrónico. Los límites de detección se determinaron según Currie [13] y Naumov [14].

En el análisis cuantitativo prevalecieron como mayoritarios Ca, Fe y Na, como minoritarios Ba, Sr y Zn y el resto se obtuvo como elementos trazas. La Fig. 1 muestra la distribución de los valores de concentración obtenidos por el análisis por activación neutrónica en las muestras de zeolitas. El orden de la Fig. 1 coincide con el orden de la tabla 4.

Elementos mayoritarios

Las concentraciones de Ca, Fe y Na concordaron con las obtenidas en muestras de estos yacimientos analizadas por espectrofotometría de absorción atómica (tabla 1), además coincidieron con los valores reportados para zeolitas del tipo mordenita y clinoptilolita [1]. El resto de los elementos mayoritarios presentes en la zeolita (Si, K, Mg, etc.) no se observaron a causa de los tiempos de enfriamiento utilizados.

Composición de las zeolitas A.A.N.T.

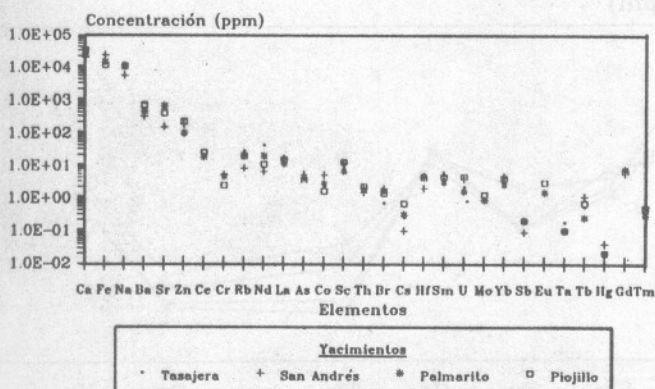


Figura 1

Distribución de las concentraciones determinadas en las
muestras de zeolitas.

Tabla 4
Concentración ($\mu\text{g/g}$) de los elementos determinados en las
zeolitas cubanas por análisis por activación neutrónica
(errores en %)

Elemento	Piojillo	Palmarito	Tasajera	San Andrés
Ca	33002,3 (6)	25304,8 (6)	33261,3 (6)	20288,7 (6)
Fe	11529,9 (3)	14392,1 (3)	13692,4 (3)	23567,1 (3)
Na	10445,3 (23)	11246,5 (23)	9382,1 (23)	5537,5 (24)
Ba	463,6 (27)	696,7 (27)	827,6 (26)	324,4 (27)
Sr	401,3 (27)	666,3 (27)	274,0 (28)	155,0 (29)
Zn	225,9 (8)	97,1 (8)	99,8 (8)	187,9 (8)
Ce	25,3 (11)	19,0 (11)	21,5 (11)	19,1 (11)
Cr	2,42 (29)	< 4,67*	< 4,9	5,26 (20)
Rb	19,5 (13)	21,0 (12)	27,9 (12)	8,4 (20)
Nd	11,1 (21)	20,3 (20)	42,9 (20)	6,7 (23)
La	15,2 (4)	11,4 (5)	11,1 (5)	16,9 (4)
As	< 3,51	4,38 (25)	< 3,6	5,4 (24)
Co	1,6 (14)	2,7 (12)	2,2 (12)	5,3 (11)
Sc	12,7 (19)	6,6 (19)	8,4 (19)	12,5 (19)
Th	2,19 (14)	1,83 (14)	1,72 (14)	1,47 (14)
Br	< 1,36	< 1,65	0,68 (30)	1,9 (29)
Cs	0,54 (22)	0,31 (25)	0,25 (26)	0,1 (30)
Hf	4,13 (9)	4,64 (9)	5,39 (9)	1,98 (12)
Sm	4,35 (7)	2,98 (7)	3,55 (7)	5,18 (7)
U	4,46 (20)	1,55 (20)	2,16 (20)	3,74 (20)
Mo	< 1,23	< 0,84	< 0,84	< 0,88
Yb	3,96 (20)	2,55 (20)	2,51 (20)	4,63 (19)
Sb	0,2 (15)	0,2 (15)	0,21 (19)	0,09 (22)
Eu	3,0 (25)	1,45 (27)	1,54 (27)	1,44 (28)
Ta	0,1 (28)	0,1 (28)	0,18 (27)	0,1 (28)
Tb	0,68 (22)	0,25 (26)	0,53 (23)	1,11 (20)
Hg	0,02 (30)	0,02 (30)	0,02 (30)	0,04 (27)
Gd	6,77 (30)	7,95 (30)	7,01 (30)	5,74 (30)
Tm	0,46 (30)	0,3 (30)	0,34 (30)	0,6 (30)

* < Límite de detección determinado según [13, 14].

Tabla 5
Concentración límite permitida y valores obtenidos para las zeolitas nacionales y estadounidenses ($\mu\text{g/g}$)

Yacimiento	Ba	Sr	Zn
Piojillo	697	401	226
Palmarito	464	666	97
Tasajera	828	274	100
San Andrés	324	155	188
CLP*	300	667	30
CLP* (suelos)	230	600	23
Wyoming	906	421	-
Texas	198	185	-
California	360	2855	-

CLP concentración límite permitida [15].

* En forma de óxido.

Elementos minoritarios

Como elementos minoritarios se determinaron Ba, Sr y Zn. Sus valores de concentración también están en el intervalo de concentraciones normales de la zeolita [1]. Su interés radica en que se determinaron por primera vez en zeolitas nacionales, lo que posibilitó analizar estos elementos desde el punto de vista toxicológico.

Las concentraciones de estos elementos en las muestras estudiadas se compararon con los niveles reportados en la literatura como concentración límite permitida (norma soviética), tanto para animales, incluyendo al hombre, como en suelos [15], así como con zeolitas estadounidenses (tabla 5).

Por una parte se observa que las concentraciones de Ba, Sr y Zn son superiores a las permitidas para el consumo animal y la fertilización de los suelos, según la norma soviética.

Por otra parte, estudios realizados por la NASA de los Estados Unidos [16] en clinoptilolitas de tres yacimientos, con el objetivo de montar zeopónicos en estaciones orbitales, muestran concentraciones de Ba semejantes a las obtenidas en este trabajo y en un caso la concentración de Sr es de $2855 \mu\text{g/g}$ es decir, 6-8 veces superior a las restantes, considerado por la norma norteamericana aceptable desde el punto de vista toxicológico.

Teniendo en cuenta que el análisis por activación con

neutrones térmicos es incapaz de reconocer el compuesto donde aparece el elemento, la diferencia de criterios entre la norma soviética y la norteamericana y la inexistencia de una norma cubana, es necesario investigar con mayor profundidad la composición de diferentes zeolitas cubanas, sobre todo las que se utilizan en gran escala en nuestra agricultura e industrias azucarera y farmacéutica, así como el movimiento de estos elementos hacia las plantas, los animales y el hombre.

Elementos trazas

Entre los elementos trazas se destaca una buena cantidad de elementos tierras raras (ETR): Ce, La, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Tm e Yb. Las concentraciones de los ETR no presentan ningún riesgo desde el punto de vista toxicológico [16]. La Fig. 2 muestra que los ETR tienen el mismo comportamiento que el observado en rocas minerales de pozos de petróleo cubanos [17] y en otras muestras minerales (basaltos, andesitas, etc.) [18].

El resto de los elementos trazas determinados, incluyendo algunos altamente tóxicos como el As y el Hg, y metales pesados (U, Th, Hf, Br, etc.), aparecen en las zeolitas estudiadas en concentraciones que no afectan su empleo desde el punto de vista toxicológico [15].

CONCLUSIONES

1. Se determinaron las concentraciones de 29 elementos en muestras de los yacimientos El Piojillo, Palmarito, Tasajera y San Andrés. Se reportó por primera vez las

Tierras raras en la zeolita A.A.N.T.

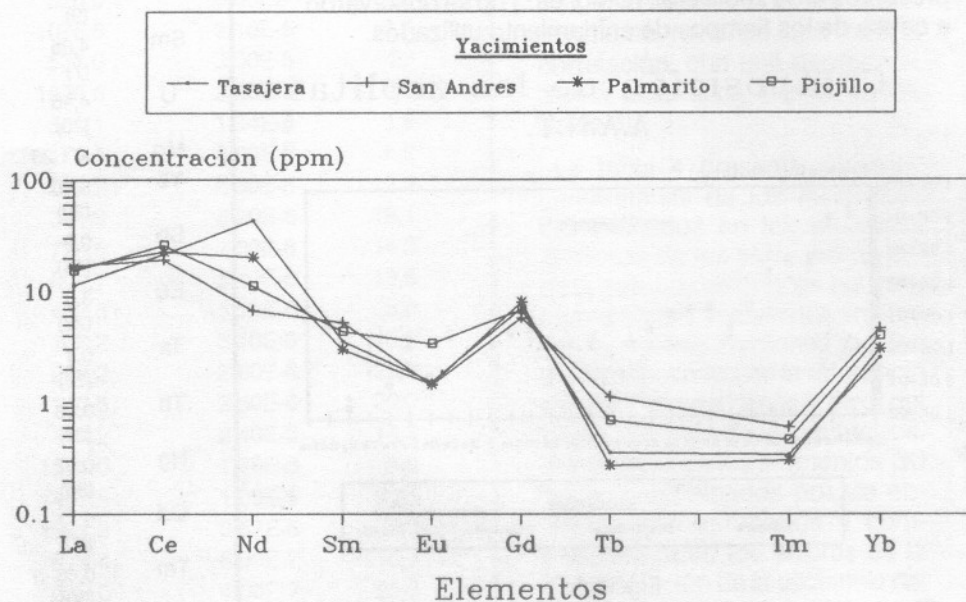


Figura 2

Comportamiento de los elementos tierras raras determinados en las zeolitas.

concentraciones de los elementos minoritarios Ba y Sr y de 22 elementos trazas.

2. La comparación de los resultados con otras técnicas y con otros tipos de muestras minerales fue satisfactoria.

RECOMENDACIONES

1. Teniendo en cuenta la amplia introducción de las zeolitas en la agricultura y en importantes industrias de nuestro país, recomendamos ampliar esta investigación al resto de las zeolitas naturales nacionales.

BIBLIOGRAFIA

- [1] GOTARDI, G., GALLI, E., Natural Zeolites (Mineral and Rocks; 18), Springer-Verlag, Heidelberg (1985).
- [2] Comparison of Nuclear Analytical Methods with Competitive Methods (Proc. Advisory Group Mtg Oak Ridge, 1986), IAEA-TEC-DOC- 435, IAEA, Vienna (1987).
- [3] SARRIA, P., FREIXAS, V. y otros, Nucleus No. 8 (1990)14-17.
- [4] DOMÍNGUEZ, J., PEREZ, A. y otros, Nucleus No. 6 (1989)13-17.
- [5] CHALES, G., CASTILLO, R. y otros, Nucleus No. 2 (1987)22-27.

- [6] NOVOA, J., DOMÍNGUEZ y otros, Nucleus No. 3 (1987)26-29.
- [7] NAZAROV, V. M., PAVLOV, S. S. et al., JINR Rapid Comm. n6-85 (1985)37 (en ruso).
- [8] KIST, A. A., KHAMATOV, Sh. et al., Activation Analysis in Science and Technology, Tashkent (1980)75-85 (in Russian).
- [9] Program SPAN v.2.2. Neutron Activation Analysis System, Institute of Atomic Energy, Beijing, China, and Higher Institute of Nuclear Sciences and Technology, Havana, Cuba (1989).
- [10] ZLOKAZOV, V. B., Comp. Phys. Commun., 28 (1982)27.
- [11] Certified Reference Material IAEA/SOIL 7. Report IAEA/RL/112, May 1984.
- [12] Handbook on Nuclear Activation Data, IAEA, Vienna (1987).
- [13] CURRIE, L. A., Limits for quantitative detection and quantitative determination. Anal. Chem. **40**, 3 (1968)586.
- [14] NAUMOV, A. P., KAFALA, S. I. et al., Nuclear Inst. and Methods in Phys. Research. B18 (1987)272-280.
- [15] BANDMAN, A. L., GUDZOVSKIY, G. A. y otros, Sustancias químicas dañinas. Compuestos inorgánicos de los elementos de los grupos I-IV Khimia, Leningrado (1988) (en ruso).
- [16] GALINDO, C., MING, D. W. et al., Characterization of starting materials used in zeoponic plant growth systems, Zeolites'91 Memoirs, Havana, Cuba (1991).
- [17] HERRERA, E., NAZAROV, V. M. et al., JINR Rapid Comm. E14-91-399 (1991).
- [18] WANDLESS, G. A., MORGAN J. W., J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles. 92/2 (1985)273-282.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS TASAS DE DOSIS GAMMA AMBIENTAL EN LA REPUBLICA DE CUBA

L. Jova Sed¹, M. Prendes Alonso¹, R. Avila Moreno², L. Pérez Tamayo³, F. Pernicka⁴

¹Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, La Habana, Cuba

²Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental del Centro, Cienfuegos, Cuba

³Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental de Oriente, Holguín, Cuba

⁴Instituto de Dosimetría de las Radiaciones, Praga, República Checa

Resumen

El presente trabajo recoge los resultados de un estudio realizado en varias regiones del país, a partir de las técnicas instrumentales de bajas dosis y de espectrometría gamma *in situ*, para determinar la tasa de dosis gamma ambiental y los principales componentes que la integran. Se demostró que los valores de la tasa de dosis gamma ambiental en las zonas estudiadas oscilan entre 33,3 y 65,8 nGy/h, características para zonas de bajo fondo radiactivo ambiental. La determinación de la componente cósmica de dicha tasa de dosis arrojó valores medios de 35,1 nGy/h, lo que representa en ocasiones hasta el 100% de la magnitud medida. Se determinó que los principales radionúclidos contribuyentes a la componente terrestre son de origen natural, es decir el K-40 y los isótopos radiactivos pertenecientes a las series del uranio y el torio.

A COMPARATIVE STUDY OF ENVIRONMENTAL GAMMA-DOSE RATES IN THE REPUBLIC OF CUBA

Abstract

This work compiles the results of a study done in different regions of the country using *in situ* gamma spectrometry and low-dose instrumental techniques to determine the environmental dose rate and its main components.

It was demonstrated that the values of the environmental gamma dose rate in the studied zones ranges from 33.3 to 65.8 nGy/h. These values are characteristics for zones with low environmental radioactive background. In determining the cosmic component of such dose rate, its mean value is 35.1 nGy/h which sometimes represents even the 100% of the overall dose rate. It was determined that the main radionuclide contributors to the terrestrial component have a natural origin, that is K-40 and the radioactive isotopes that belongs to the uranium and thorium series.

Key words: environment, cosmic radiation, background radiation, natural radioactivity, radiation doses, dose-rates.

INTRODUCCION

Determinar los cambios en el nivel del fondo radiactivo ambiental requiere conocer en detalle la línea base o el llamado fondo cero, que sirva como nivel de referencia con relación a los valores registrados por los medidores de tasa de dosis gamma. Estas mediciones son con frecuencia la primera indicación de las alteraciones del fondo radiactivo.

Para establecer este nivel de referencia se estudia la tasa de dosis gamma ambiental y la composición del fondo radiacional: componente cósmica, aporte relativo de los radionúclidos naturales y aporte de los radionúclidos artificiales.

Las técnicas instrumentales de dosimetría de bajas dosis y de espectrometría gamma *in situ* pueden contribuir al conocimiento de la situación radiológica. Por esto se deben saber con precisión las características y

los niveles de sensibilidad de los métodos de calibración y sistemas de medición [1].

En el presente trabajo se muestran los resultados del estudio comparativo de las tasas de dosis gamma ambiental en tres regiones de la República de Cuba (occidental, central y oriental) a partir de las técnicas mencionadas.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó una serie de mediciones en los emplazamientos de futuras instalaciones nucleares del país: central electronuclear de Juraguá y central electronuclear en la región norte de Holguín.

Los puntos de medición se tomaron teniendo en cuenta la dirección predominante de los vientos; la distribución de la población; que el ángulo entre dos puntos de medición y el reactor no supere los treinta

grados; que todos los puntos estén incluidos en el área barrida por un radio de 30 km a partir del punto de expulsión. Para conocer la influencia de agentes externos de contaminación radiactiva global, se seleccionó un punto de medición ubicado a más de 30 km del centro de posible liberación de sustancias radiactivas al medio y en posición contraria a la dirección predominante de los vientos.

Los sistemas de medición se utilizaron de forma paralela, y para validar y analizar los resultados se empleó como valor primario el obtenido con la cámara de ionización de alta presión RSS-111, por su estabilidad con respecto a las altas temperaturas existentes en las zonas en estudio, sus características técnicas y su reciente calibración.

Las principales características técnicas de los sistemas utilizados son las siguientes:

1. Cámara de ionización de alta presión RSS-111:
 - a) Límite inferior de discriminación: 60 keV.
 - b) Sensibilidad relativa: 0,6 para 60 keV.
 - c) Error de calibración aproximado: 5%.
2. Sistema checoslovaco NB-3201 con detector de centelleo:
 - a) Límite inferior de discriminación para la radiación gamma: 30 keV.
 - b) Fuerte dependencia de la temperatura.
 - c) Otras características en estudio.
3. Sistema de espectrometría gamma *in situ*:
 - a) Eficiencia intrínseca de la detección gamma: 58,6% para 661,7 keV y 31,6% para 1332 keV.
 - b) Resolución energética: 7,9% para 661,7 keV.
 - c) Zonas de interés estudiadas: Cs-37, 598-726 keV; K-40, 1366-1660 keV; Ra-226, 1660-1870 keV; Th-232, 2493-2750 keV.
 - d) Límite inferior de discriminación: 15-35 keV.
4. Equipo de prospección geológica SRP-6801:
 - a) Error indeterminado para el 20% inicial de cada diapasón.
 - b) El diapasón menor que 100 s^{-1} y hasta 262,8 nGy/h no se comprueba metrológicamente.

Tanto la cámara de ionización como el sistema checoslovaco NB-3201 con detector de centelleo se calibraron en el Instituto de Dosimetría de la Academia de Ciencias de la antigua Checoslovaquia.

Las mediciones por espectrometría gamma *in situ* se realizaron según la metodología descrita en la Ref. [2]. El método se validó durante los ejercicios de calibración efectuados como parte de un convenio con el desaparecido Consejo de Ayuda Mutua Económica.

En algunos de los puntos medidos se tomaron además muestras de suelos a diferentes profundidades y luego se midieron por espectrometría gamma de bajo fondo en condiciones de laboratorio (tabla 1).

Tabla 1
Resultados de mediciones *in situ* y de laboratorio (Bq/kg)

Lugar de medición	Radio-núclidos	Act. específica <i>in situ</i>	Act. específica en laboratorio
Güines, La Habana	K-40	131 ± 15	116 ± 20
	U-238	162 ± 16	322 ± 40
	Th-232	45 ± 4	60 ± 8
Fray Benito, Holguín	K-40	$52,1 \pm 0,2$	$73,0 \pm 7,0$
	U-238	$1,2 \pm 0,1$	$3,1 \pm 0,9$
	Th-232	$4,6 \pm 0,1$	$2,5 \pm 0,5$

Para evaluar la contribución de la componente cósmica a la tasa de dosis gamma ambiental se hicieron mediciones en embalses de agua dulce, garantizando una columna de agua superior a los 10 metros debajo del lugar de la medición, a una distancia superior a los 200 metros de la orilla.

RESULTADOS Y DISCUSION

El control de cualquier magnitud que caracterice al medio ambiente ha de concebirse como la determinación de las fluctuaciones de esa magnitud en el tiempo y en el espacio e impone el estudio de las tendencias del comportamiento de las magnitudes. La posible fluctuación de la tasa de dosis gamma debido a la puesta en funcionamiento de una instalación nuclear exige por tanto descartar otras fuentes de variación temporal o espacial en la zona de estudio.

Para estudiar la fluctuación espacial de la tasa de dosis gamma ambiental y caracterizar sus principales componentes, se realizaron campañas de medición. En ninguna de las mediciones el valor de la tasa de dosis gamma fue superior a 70 nGy/h (tablas 2 y 3). También se midieron las componentes principales a la tasa de dosis. El valor obtenido en la primera medición de la componente cósmica a la tasa de dosis gamma realizada en el país en las presas Gibara y Cumanayagua (ubicadas a una misma altura sobre el nivel del mar) fue $35,1 \pm 3,9 \text{ nGy/h}$ para ambos embalses. Si se compara este resultado con los valores de la tasa de dosis gamma que caracterizan la región oriental del país (tabla 2) y los de la central electronuclear de Juraguá (tabla 3), se comprueba que la componente cósmica puede representar hasta el 100% de la magnitud medida. La componente terrestre se estudió y se comprobó que su composición fundamental viene dada por el aporte de los radionúclidos K-40 y los hijos de las cadenas radiactivas naturales del Th-232 y el U-238 (tablas 4 y 5).

Tanto los valores obtenidos por la medición integral como los valores de la concentración de cada radionúclido contribuyente a la tasa de dosis gamma total corresponden a regiones de fondo radiactivo am-

Tabla 2

Valores de la tasa de dosis gamma medidos en la zona del emplazamiento propuesto para la central electronuclear del norte de Holguín (nGy/h)

Posta No.	Cámara de ionización	Detector de entalleo
1	37,8 ± 4,2	39,5 ± 0,9
2	42,1 ± 4,6	50,9 ± 0,9
3	33,3 ± 3,8	43,9 ± 0,9
4	33,3 ± 3,8	42,1 ± 0,9
5	48,2 ± 5,1	52,6 ± 0,9
6	45,6 ± 4,9	46,5 ± 0,9
7	36,8 ± 4,1	37,7 ± 0,9
8	65,8 ± 6,8	76,3 ± 0,9
9	34,2 ± 3,9	45,6 ± 0,9
10	43,0 ± 4,7	46,5 ± 0,9
11	44,7 ± 4,8	46,5 ± 0,9
12	43,0 ± 4,7	41,2 ± 0,9
13	47,4 ± 5,1	45,6 ± 0,9
14	65,8 ± 6,8	66,7 ± 0,9
15	57,0 ± 6,0	57,0 ± 0,9
16	35,1 ± 3,9	37,7 ± 0,9
17	36,0 ± 4,0	38,6 ± 0,9
18	45,6 ± 4,9	50,9 ± 0,9
19	38,6 ± 4,3	43,0 ± 0,9
20	33,3 ± 3,8	34,2 ± 0,9
21	35,1 ± 3,9	37,7 ± 0,9
22	55,3 ± 5,8	56,1 ± 0,9
23	43,0 ± 4,7	43,0 ± 0,9

Tabla 3

Valores de la tasa de dosis gamma medidos en la zona del emplazamiento propuesto para la central electronuclear de Juraguá (nGy/h)

Posta No.	Cámara de ionización	Detector de centelleo
1	48,2 ± 5,1	45,6 ± 0,9
2	45,6 ± 4,9	49,1 ± 0,9
3	43,9 ± 4,7	50,9 ± 0,9
4	48,2 ± 5,1	46,5 ± 0,9
5	43,0 ± 4,7	40,3 ± 0,9
6		46,5 ± 0,9
7		52,6 ± 0,9
8		52,6 ± 0,9
9	64,9 ± 6,7	77,2 ± 0,9
10		47,4 ± 0,9
11		41,2 ± 0,9
12		51,7 ± 0,9
13		43,9 ± 0,9
14	48,2 ± 5,1	46,5 ± 0,9
15	46,5 ± 5,0	45,6 ± 0,9
16	50,9 ± 5,4	52,6 ± 0,9
17	35,1 ± 3,9	37,7 ± 0,9
18		49,1 ± 0,9
19	47,4 ± 5,1	62,3 ± 0,9

Tabla 4

Evaluación obtenida por espectrometría gamma *in situ* en la región norte de Holguín

Posta No.	Contribución del K-40		Contribución del U-238		Contribución del Th-232		Total de la tasa estimada nGy/h
	Act. especif. Bq/Kg	Tasa nGy/h	Act. especif. Bq/kg	Tasa nGy/h	Act. especif. Bq/kg	Tasa nGh/h	
4	52,1 ± 6,0	2,1 ± 0,4	1,1 ± 0,1	0,5 ± 0,4	1,0 ± 0,1	0,7 ± 0,1	3,3 ± 0,4
5	385,6 ± 44,1	16,1 ± 0,4	9,5 ± 0,9	4,2 ± 0,4	4,6 ± 0,4	2,1 ± 0,4	23,3 ± 0,4
6	252,0 ± 28,9	10,5 ± 0,4	3,3 ± 0,3	1,4 ± 0,4	2,3 ± 0,2	1,5 ± 0,4	13,4 ± 0,4
13	267,3 ± 30,6	11,2 ± 0,4	2,2 ± 0,2	0,9 ± 0,4	3,1 ± 0,3	2,1 ± 0,4	14,2 ± 0,4
15	170,3 ± 19,5	7,0 ± 0,4	41,4 ± 4,1	18,1 ± 0,4	5,0 ± 0,4	3,3 ± 0,4	28,6 ± 0,4
16	24,0 ± 2,7	0,1 ± 0,4	2,3 ± 0,2	0,1 ± 0,4	0,5 ± 0,1	0,4 ± 0,4	2,3 ± 0,4
17	42,7 ± 4,9	1,8 ± 0,4	2,4 ± 0,2	1,2 ± 0,4	0,5 ± 0,1	0,4 ± 0,4	3,2 ± 0,4
18	176,0 ± 20,2	7,4 ± 0,4	1,7 ± 0,2	0,7 ± 0,4	5,2 ± 0,5	3,4 ± 0,4	11,5 ± 0,4
22	250,0 ± 28,6	10,4 ± 0,4	12,9 ± 1,3	5,7 ± 0,4	4,6 ± 0,4	2,1 ± 0,4	19,0 ± 0,4

biental poco alterado, donde los niveles de los radionúclidos artificiales contribuyentes a la tasa de dosis gamma son bajos, y solo es detectable el aporte del cesio 137 proveniente de las precipitaciones globales.

De interés fueron las zonas donde, ya sea por el poco uso de la tierra o por sus características geológicas, existe una concentración pequeña de radionúclidos

naturales (K-40, U-238, Th-232) y otros, lo que hace más fácil la resolución del pico del cesio 137 por espectrometría gamma *in situ*. En estas se decidió ejecutar una campaña complementaria con un diseño combinado de mediciones de campo y toma de muestras.

En la tabla 6 aparecen reportados algunos de los resultados de las mediciones de la tasa de dosis gamma

Tabla 5
Evaluación obtenida por espectrometría gamma *in situ* en la región de Juraguá

Posta No.	Contribución del K-40		Contribución del U-238		Contribución del Th-232		Total de la tasa estimada nGy/h
	Act. especif. Bq/Kg	Tasa nGy/h	Act. especif. Bq/kg	Tasa nGy/h	Act. especif. Bq/kg	Tasa nGh/h	
1	190,3 ± 21,8	7,1 ± 0,4	4,3 ± 0,4	1,9 ± 0,4	3,7 ± 0,3	2,4 ± 0,4	12,2 ± 0,4
3	79,4 ± 9,1	3,3 ± 0,4	1,3 ± 0,2	0,9 ± 0,4	6,1 ± 0,5	3,1 ± 0,4	8,4 ± 0,4
5	74,2 ± 8,5	3,1 ± 0,4	4,9 ± 0,5	2,2 ± 0,4	2,5 ± 0,2	1,7 ± 0,4	6,9 ± 0,4
11	105,7 ± 12,1	4,4 ± 0,4	8,9 ± 0,9	3,9 ± 0,4	2,1 ± 0,2	2,0 ± 0,4	10,2 ± 0,4
14	28,5 ± 3,3	1,3 ± 0,4	8,6 ± 0,8	3,8 ± 0,4	13,3 ± 1,2	8,8 ± 0,4	13,8 ± 0,4
19	193,4 ± 22,1	8,0 ± 0,4	5,8 ± 0,6	2,5 ± 0,4	3,3 ± 0,3	2,2 ± 0,4	12,8 ± 0,4

Tabla 6

Resultados de las mediciones de la tasa de dosis del fondo gamma ambiental con la cámara de ionización (CI) de alta presión y con los dosímetros termoluminiscentes (DTL)

Estación de muestreo	DTL (nGy/h)	CI (nGy/h)
E-1	80,4 ± 1,0	45,2 ± 4,9
E-2	59,3 ± 1,0	
E-4	59,3 ± 1,0	53,3 ± 5,6
E-6		56,3 ± 5,9
E-7	58,4 ± 1,0	
E-13	61,3 ± 1,0	
E-15		56,3 ± 5,9
E-16	62,3 ± 1,0	53,3 ± 5,6
E-18	55,3 ± 1,0	
E-19		53,3 ± 5,6
E-21		60,3 ± 6,3
E-22	61,3 ± 1,0	53,3 ± 5,6
E-24	62,3 ± 1,0	
E-27	62,3 ± 1,0	60,3 ± 6,3
E-28	60,3 ± 1,0	
E-30	57,9 ± 1,0	53,3 ± 5,6
V-12		59,3 ± 6,2

tomados con la cámara de ionización y con dosímetros termoluminiscentes en el área de emplazamiento del futuro centro de investigaciones nucleares La Quebrada, ubicado en la región occidental del país [3].

CONCLUSIONES

Se determinaron los valores de la tasa de dosis gamma de diferentes emplazamientos propuestos para futuras instalaciones nucleares de la República de Cuba. Se comprobó que los valores medidos de la tasa de dosis gamma ambiental no sobrepasan los 65,8 nGy/h en las regiones del territorio nacional estudiadas, lo cual representa valores característicos para zonas de bajo fondo radiactivo ambiental afectadas solo por la influencia de las precipitaciones radiactivas globales.

Se reportaron valores medios de la tasa de dosis gamma de 44 nGy/h en la región oriental, 48 nGy/h en la central y 54 nGy/h en la occidental.

Se realizaron las primeras evaluaciones experimentales de la componente cósmica de la tasa de dosis gamma ambiental y se pudo comprobar que su contribución (35,1 nGy/h) es determinante, pues oscila entre el 53 y el 100% de la magnitud medida.

Se determinó que los principales radionúclidos contribuyentes a la componente terrestre de la tasa de dosis gamma son de origen natural, a saber: K-40, y los isótopos pertenecientes a las series del uranio y el torio, y también se valoró su contribución.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Commission of European Communities. Contracts No. 1216/83 and 1244/85. Radio Protection -41 Part -1. 1984 and 1985 Experiments. Intercomparison of Environmental gamma dose rate meters. A comprehensive study of calibration methods and field measurements.
- [2] ALFONSO, R., AVILA, R. y otros, Espectrometría gamma para el monitoreo del medio ambiente, Boletín Técnico, ISSN-0138-0509, Vol. V, No. 1, enero-marzo 1992.
- [3] JOVA, L. y otros, Estudio del fondo radiactivo ambiental en zona de posible ubicación de una instalación nuclear, Nucleus No. 1 (1986)15.

UN MODELO FENOMENOLOGICO PARA DESCRIBIR LA FLUCTUACION DE TEMPERATURA EN UN REACTOR DE AGUA A PRESION

O. Aguilar Martínez, M. E. Montesinos Otero
Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares

Resumen

Se desarrolló un modelo fenomenológico (termohidráulico-neutrónico) para describir la propagación del campo de fluctuaciones de temperatura en un reactor de agua a presión. Se tuvo en cuenta la posibilidad de que actuaran varias fuentes de ruido, pero se consideró que la asociada a la fluctuación de temperatura era determinante. La aplicación del modelo a la estimación paramétrica en reactores de agua a presión se discute en detalle. Se obtuvo una expresión para la estimación del coeficiente de reactividad por temperatura, parámetro relacionado con la seguridad del reactor. La buena concordancia entre los resultados que reportó el modelo y los que se obtuvieron en mediciones de ruido en la segunda unidad de la central electronuclear de Paks en Hungría (1986-1987), permitió validar el método desarrollado sobre la base del modelo que se analiza en este trabajo. El método se puede aplicar al monitoreo permanente del coeficiente de reactividad por temperatura.

A PHENOMENOLOGICAL MODEL TO DESCRIBE THE TEMPERATURE FLUCTUATION IN A PRESSURIZED WATER REACTOR

Abstract

A phenomenological (termohydraulic-neutronic) model is presented in this paper. It allows the description of the temperature fluctuation field propagation in a PWR. In the model it is considered some different kinds of noise sources, but the related to temperature fluctuation has been considered as the dominant one. Possibilities for parameter estimation application of the model are discussed in details. One expression for temperature reactivity coefficient estimation -parameter related to the safe work of the reactor- has been obtained and commented. The reported results from the model, has been compared with noise measurements performed in 1986-1987 at the second unit of Paks nuclear power plant in Hungary. The good agreements of results validated the developed model. The described method can be applied to on-line monitoring of this parameter.

Key words: noise, computer codes, reactivity coefficients, fluctuations, PWR type reactors, mathematical models.

INTRODUCCION

La estimación del coeficiente de reactividad por temperatura (CRT) es muy importante al inicio de la campaña combustible del reactor, ya que para altas concentraciones de ácido bórico en el moderador, la componente del CRT para el moderador (CRT_M) puede adquirir valores no negativos [1].

La complejidad del procedimiento de cálculo para estudiar el comportamiento de este coeficiente hace que se represente en términos del CRT isotérmico.

En la práctica, este coeficiente no representa siempre con buena exactitud los procesos dinámicos instantáneos que pueden ocurrir en el reactor a potencia debido a los incrementos no uniformes de temperatura en la zona activa [2]. Por tanto, para complementar estos cálculos durante la puesta en marcha física se realizan mediciones convencionales del CRT_M y el

coeficiente de reactividad por temperatura para el combustible (CRT_C).

Los métodos convencionales para medir este coeficiente presentan los siguientes inconvenientes:

- Requieren cambios de temperatura y esto introduce perturbaciones en la operación del reactor.
- Es difícil obtener una buena exactitud en tales mediciones debido a diferentes efectos que provienen del sistema tecnológico.
- No permiten el monitoreo permanente de este parámetro.

Algunos estudios realizados en los últimos años [3-7] indican la posibilidad de determinar este coeficiente mediante el diagnóstico por ruido. Otros trabajos [5-7] demuestran que el cociente obtenido entre los valores cuadráticos medios (RMS) de los espectros que describen las fluctuaciones neutrónicas y de

temperatura se puede utilizar para la estimación paramétrica en un reactor a potencia. El enfoque de la cinética puntual que se aplicó al modelo desarrollado en esos trabajos no permitió considerar efectos espaciales característicos del reactor a potencia y por ello solo se emplearon en la estimación del coeficiente los detectores situados fuera de la zona activa.

En el presente trabajo se generaliza el método para aplicarlo a detectores situados dentro de la zona activa considerando efectos espaciales. Con este objetivo se desarrolló un modelo físico para representar la fluctuación neutrónica, de temperatura y de potencia. El modelo incluye los efectos de retroalimentación a la potencia neutrónica en términos de las componentes para el moderador y el combustible y considera, además, la posible influencia de una reactividad externa como el movimiento de compensación a la criticidad utilizando el sistema de regulación y control del reactor.

En el trabajo se demuestra la potencialidad del método sobre la base del modelo analizado para determinar los parámetros termohidráulicos y físico-neutrónicos, así como para vigilar el trabajo operacional del reactor.

MODELO DINAMICO DE LA FLUCTUACION DE TEMPERATURA EN EL CANAL DE UN REACTOR DE AGUA A PRESION

Partiendo de las ecuaciones de intercambio térmico en un canal termohidráulico, donde se supone la aproximación de un elemento combustible [8], y considerando la respuesta de reactividad a una variación de la densidad neutrónica en el reactor [9], es posible derivar una expresión para el acoplamiento entre los campos neutrónicos y de temperatura en un canal termohidráulico de un reactor VVER-440. Esta expresión en el dominio frecuencial para la fluctuación de temperatura y de potencia neutrónica tiene la forma siguiente:

$$T_c(f, z) = T_c(f, 0) \exp(-j f z / 2v) + [qz \cdot D_c(f) \text{Rex}(f) G(jf) / v t_c + [G(jf) qz \cdot D_c(f) W(f, z) (\text{CRT}_c D_c(f) + \text{CRT}_M) W(f, H) T_c(f, 0)] / v t_c] \quad (1)$$

$$P(f) = G(jf) [\text{Rex}(f) + (\text{CRT}_c D_c(f) + \text{CRT}_M) W(f, H) T_c(f, 0)] \quad (2)$$

donde:

z es la posición axial del detector en el canal termohidráulico;

$T_c(f, 0)$ es la fluctuación de temperatura del refrigerante en la posición axial $z = 0$;

$W(w) = [\sin(fH/2v) \exp(-j f H / 2v)] / (fH/2v)$;

$G_0(f)$ es la función transferencial a potencia cero;

$G(jf)$ es la función transferencial con retroalimentación en velocidad y temperatura del refrigerante;

Rex es la reactividad externa;

CRT_M y CRT_C son los coeficientes de reactividad por temperatura para el moderador y el combustible;

$q(z)$ es el factor de forma proporcional al flujo térmico;

t_c es el tiempo de tránsito del moderador;

$P(f)$ es la fluctuación de la potencia neutrónica.

Si se considera la respuesta de detectores neutrónicos fuera de la zona activa (caracterizados por efectos globales), detectores dentro de la zona activa (efectos locales y globales) y detectores de temperatura, tenemos:

$$R_{ex}(f) = g \cdot P(f) \quad (3)$$

$$R_{in}(f) = g' \cdot P(f) + ep \cdot T_c(f, z) \quad (4)$$

$$R_T(f) = e \cdot T_c(f, z) \quad (5)$$

donde:

g, g', e, ep son factores de proporcionalidad ajustados al modelo con valores experimentales.

Con estas expresiones, los descriptores estadísticos en el dominio frecuencial pueden informarnos de los efectos de acoplamiento entre los campos neutrónicos y de temperatura, teniendo en cuenta las respuestas correlacionadas de detectores de temperatura y de detectores neutrónicos fuera y dentro de la zona activa. Al analizar la respuesta de los diferentes detectores hemos considerado un modelo determinista asumiendo que la fuente de ruido presente se mantiene en todo el intervalo de frecuencias. Sin embargo, de las condiciones de aplicación de modelos simplificados para el acoplamiento térmico-neutrónico [10,11] es evidente que esta zona de correlación entre los campos analizados se limita a las bajas frecuencias, esto es entre 0-1 Hz, por lo que en principio las condiciones de validez del modelo se pueden extrapolar convenientemente al caso real con modelos no deterministas.

Planteando la expresión que relaciona al coeficiente de reactividad por temperatura con los descriptores frecuenciales $\text{CPSD}_{N-T}(f)$, $\text{APSD}_T(f)$ y la función transferencial para el reactor a potencia tenemos:

$$\text{CRT}(f) = \frac{1}{G(jf)} \cdot \frac{\text{CPSD}_{N-T}(f)}{\text{APSD}_T(f)} \quad (6)$$

o sustituyendo cada término por su análogo en las fórmulas(1)-(5), obtenemos:

$$\text{CRT}_{ex}(f) = \frac{1}{G(jf)} \cdot \frac{g \cdot P(f) \cdot e \cdot T_c(f, z)}{e \cdot T_c(f, z) \cdot e \cdot T_c(f, z)} \quad (7)$$

utilizando detectores fuera de la zona activa.

$$\text{CRT}_{in}(f) = \frac{1}{G(jf)} \cdot \frac{(g' \cdot P(f) + ep \cdot T_c(f, z)) \cdot ep \cdot T_c(f, z)}{e \cdot T_c(f, z) \cdot e \cdot T_c(f, z)} \quad (8)$$

utilizando detectores dentro de la zona activa.

SIMULACION DIGITAL DEL MODELO FENOMENOLOGICO

Las expresiones fundamentales que se consideraron, para analizar las condiciones y los valores de los parámetros físicos que intervienen en el modelo son las obtenidas en (6)-(8). Para describir estas dependencias se hicieron las siguientes suposiciones en las expresiones del CRT(f) en función de la duración de la campaña en el reactor tipo VVER:

1. Se asume una dependencia de la función transferencial del reactor a potencia con la duración de la campaña (Fig. 1) dada a través del comportamiento de la fracción efectiva de neutrones retrasados en el reactor (β_{eff}). (Fig. 2.)
2. Se considera que β_{eff} depende linealmente del tiempo efectivo con la duración de la campaña (T_{eff}). (Fig. 3).
3. Se considera que el CRT_C depende de forma cuadrática con la duración de la campaña (Fig. 4).
4. El parámetro de convección del efecto global (g) varía en forma cuadrática y muy débilmente con la duración de la campaña (Fig. 5).

Los valores para calcular los coeficientes de las expresiones (6)-(8) se tomaron de consideraciones físicas y se ajustaron a la situación real de un reactor del tipo VVER [12]. Los valores analizados e, g', g y ep se consideraron parámetros libres, y mediante su ajuste al experimento permitieron aplicar el modelo a las comparaciones.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el intervalo de frecuencias analizado, el espectro de temperatura posee un carácter de filtro de baja frecuencia. El término en $\sin(x)/x$ es el responsable de tal comportamiento. La Fig. 6 reproduce el espectro de densidad de potencia espectral para la fluctuación de temperatura, suponiendo una reactividad inicial del tipo de impulso (delta de Dirac en t), cuya transformada de Fourier es una constante.

La dependencia de la fase del espectro de densidad de potencia espectral entre dos termopares tiene carácter lineal (Fig. 7), lo cual está de acuerdo con el cálculo de la fase según la expresión (9):

$$\text{Fase}_{T1-T2}(f) = Tg^{-1} \{ \sin[f(Z_{T2}-Z_{T1})/2v] / \cos[f(Z_{T2}-Z_{T1})/2v] \}$$

y $\text{Fase}_{T1-T2}(f) = f(Z_{T2}-Z_{T1})/2v$ (9)

Conociendo el comportamiento de la fase con la frecuencia, es posible derivar el valor de la velocidad del refrigerante.

En el espectro de densidad de potencia espectral cruzada entre el campo neutrónico y de temperatura

para detectores dentro de la zona activa, se observa la presencia de mínimos (Fig. 8), asociados al carácter de filtro de la transformada de Fourier y que pueden estar relacionados con la velocidad de propagación de la perturbación [13]. La dependencia con la frecuencia de la fase de la densidad de potencia espectral cruzada entre el campo de la fluctuación neutrónica y el de temperatura tiene también un comportamiento lineal (Fig. 9) debido en este caso a la dependencia con la posición del termopar en el canal termohidráulico.

$$\text{Fase}_{ex}(f) = Tg^{-1} [\sin(fZ_T/2v) \cos(fZ_T/2v)^{-1}] = fZ_T/2v \quad (10)$$

Quando se emplean detectores dentro de la zona activa y el detector de temperatura, se obtiene la siguiente dependencia de la fase:

$$\text{Fase}_{in}(f) = Tg^{-1} \left\{ \frac{[Ag \sin(fZ_T/2v) + B \sin(fZ_T - fZ_i)/2v]}{[Ag \cos(fZ_T/2v) + B \cos(fZ_T - fZ_i)/2v]} \right\} \quad (11)$$

si $Ag = g \cdot D^*(f)$

$$\text{y } B = epq/vtc \cdot (Dc(f))^2 \cdot Z_i \cdot (\sin(fZ_i/2v)/(fZ_i/2v)) \quad (12)$$

Se observa que cuando predomina el efecto global:

$$Ag(f) \gg B(f) \approx 0$$

y se obtiene:

$$\text{Fase} = Tg^{-1} [\sin(fZ_T/2v) / \cos(fZ_T/2v)] = fZ_T/2v \quad (13)$$

El comportamiento de la fase depende del comportamiento de la función transferencial del detector de temperatura y no de la posición del detector dentro de la zona activa.

Quando predomina el efecto local se tiene:

$$B(f) \gg Ag(f) \approx 0$$

por lo que:

$$\text{Fase}_l = f(Z_T - Z_i)/2v \quad (14)$$

un comportamiento lineal entre los dos detectores, pero determinado por la distancia entre ellos.

La Fig. 10 demuestra que existe un predominio del efecto local sobre el global. Se nota que a medida que disminuye la distancia entre el detector dentro de la zona activa y el termopar, es mayor la frecuencia de corte en la dependencia (punto en que la fase = $\pi/2$) y por ello menor el tiempo de recorrido de la perturbación entre los detectores. Para distancias menores entre los detectores se modula la linealidad del comportamiento entre ellos en la mayor parte del intervalo de frecuencias. Solo existe una dependencia lineal entre los detectores en el intervalo de 0-1,7 Hz donde predomina el efecto local. Para frecuencias mayores prácticamente se pierde la linealidad y se obtiene una modulación de la señal alrededor del comportamiento lineal. Finalmente el comportamiento lineal se pierde totalmente si los detectores están muy próximos, lo cual se puede explicar como una interferencia de la componente global.

Las expresiones (7) y (8) evidencian la dependencia del coeficiente $CRT_M(f)$ con la función transferencial del reactor a potencia. En una primera evaluación se consideró la aproximación $G_p(f) = G_0(f) \approx 1/\beta_{eff}$ que supone el trabajo en el intervalo de frecuencias en que la función transferencial es constante e independiente de la frecuencia (Fig. 11). Sin embargo, la presencia de efectos de retroalimentación en el reactor a potencia modifica el comportamiento de las bajas frecuencias; el grado de oscilación de la frecuencia depende de la complejidad del modelo de retroalimentación que se considere. La Fig. 11 muestra también el comportamiento de $G_p(f)$ en el intervalo de frecuencias de interés para las condiciones asumidas en el modelo y que se representan en el diagrama de bloque de la Fig. 12. Nótese que a altas frecuencias no influyen los efectos de retroalimentación en el sistema.

Las Figs. 13 y 14 representan las dependencias del $CRT_M(f)$ utilizando detectores neutrónicos fuera y dentro de la zona activa; en ambas se comparan las aproximaciones consideradas para la función transferencial de potencia.

Se observa que para la aproximación $1/\beta_{eff}$ la magnitud del coeficiente $CRT_M(f)$ permanece aproximadamente constante en el intervalo de 0-0,4 Hz, y aumenta a frecuencias mayores. Thie [3] y Turkcan [4] consideran que los campos neutrónicos y de temperatura permanecen acoplados hasta la frecuencia de 1 Hz y que para este valor resulta válido un análisis causa-efecto entre las señales. Es posible que en frecuencias superiores a 0,4 Hz intervengan otras fuentes de ruido características de las bajas frecuencias, como las variaciones de la presión en el compensador de volumen del primer circuito. Por lo tanto, es de poco interés analizar el comportamiento del coeficiente $CRT_M(f)$ para valores mayores que 0,4 Hz, dado que estará influido por otras muchas componentes diferentes de la fluctuación de temperatura.

Si se considera el efecto de la función transferencial de potencia teniendo en cuenta la retroalimentación por temperatura, entonces el comportamiento del $CRT_M(f)$ cambia notablemente en el intervalo 0-0,4 Hz, ya que a altas frecuencias permanece invariable respecto al comportamiento en la aproximación $1/\beta_{eff}$. Sin embargo, pudiera considerarse en todo los casos como un valor medio, aun con retroalimentación presente. Lo analizado hasta aquí es válido para detectores situados fuera y dentro de la zona activa (Fig. 14).

Si se compara el comportamiento del coeficiente con la frecuencia obtenido por los diferentes tipos de detectores utilizando el valor real de $G_p(f)$ (Fig. 15), se observa que la determinación del $CRT(f)$ sobre la base de detectores dentro de la zona activa sobrestima el valor obtenido usando detectores fuera de la zona activa. Este efecto se debe a una componente local en la respuesta del detector dentro de la zona activa, que es mayor mientras más alta es la posición del detector en el canal termohidráulico. Se observa que este fenómeno localiza

su extensión hasta las cercanías de 0,9 Hz, que es el intervalo de acción de la componente local, producto de la propagación de la perturbación de temperatura (fluctuación de temperatura). Estas conclusiones se pueden obtener analizando las gráficas de la Fig. 16, donde se compara la densidad de potencia espectral (APSD) para los detectores dentro de la zona activa en tres posiciones diferentes con la APSD del detector fuera de la zona activa.

La componente del moderador del $CRT(f)$ varía significativamente durante la campaña del reactor. Esta variación se debe fundamentalmente a variaciones de la densidad del medio (refrigerante) dado por el decrecimiento de la concentración de ácido bórico en él y a la acumulación de plutonio y de los productos de fisión en el reactor [3, 5, 6].

Estos efectos provocan que el $CRT(f)$ siga una dependencia de crecimiento en módulo con la duración de la campaña del reactor [1]. Este comportamiento se observa en la Fig. 17, que muestra la dependencia del $CRT(f)$ obtenido con detectores fuera de la zona activa como función de la campaña y evaluado para la frecuencia de 0,4 Hz.

La Fig. 18 muestra la dependencia de $CRT_M(f)$ con la duración de la campaña calculada sobre la base de detectores dentro de la zona activa. Es notable que la estimación de $CRT(f)$ sobrestima el valor obtenido por $CRT(f)$ para el detector fuera de la zona activa. Por consiguiente es aconsejable emplear correcciones que tengan en cuenta este efecto en los detectores dentro de la zona activa. Se obtuvo una buena concordancia entre los resultados del $CRT(f)$ según el modelo digital que se analiza en este trabajo y los obtenidos de mediciones de ruido en la segunda unidad de la central electronuclear de Paks en Hungría. Para realizar esta comparación se empleó una dependencia lineal de g con T_{eff} , obtenida del experimento.

CONCLUSIONES

La buena concordancia entre los resultados que reporta el modelo digital analizado en este trabajo y los que se obtuvieron en mediciones realizadas en la central electronuclear de Paks, Hungría permite validar el método.

El modelo desarrollado tiene un carácter determinista y se puede enriquecer si se tienen en cuenta las fluctuaciones de velocidad del refrigerante como fuente posible de ruido en el reactor y la retroalimentación de los efectos de variación y presión, así como la inclusión de la variación de la densidad del medio.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ORCHINIKOV, I. y otros, Regímenes operacionales en reactores VVER, Editorial Atomizdat (1981) (en ruso).
- [2] HEITRICKS, D., Dynamics of Nuclear Reactors, Pergamon Press, New York (1971).
- [3] THIE, J.A., Prog. in Nucl. Energy, 1 (1978)283.
- [4] TURKCAN, E., Prog. in Nucl. Energy 9 (1982)437.

- [5] POR, G. y otros, Prog. in Nucl. Energy 15 (1985)897.
 [6] AGUILAR, O., Reporte KFKI-1986-63/G.
 [7] AGUILAR, O., POR, G., Annals of Nuc. Energy 14 10 (1987)521.
 [8] WILLIAMS, M. M. R., Random Process in Nuclear Reactors, Pergamon Press, New York (1974).
 [9] KOSALY, G., MESKO, L., Atomkernenergie 20 (1972)33.
 [10] KATONA, T., KOZMA, R., Prog. in Nucl. Energy, 21 (1987)21.

- [11] AGUILAR, O., SANTOS, J., Estimación paramétrica en reactores VVER 440, XV Simposio de la Física VVER, Moscú (1987).
 [12] GLOCKER, O. y otros, Reporte KFKI-1986-81/G (1986).
 [13] SWEENEY, F. J. y otros, Encuentro técnico sobre termohidráulica de reactores nucleares, Santa Bárbara, California, 11-14 de enero de 1983.

ANEXO

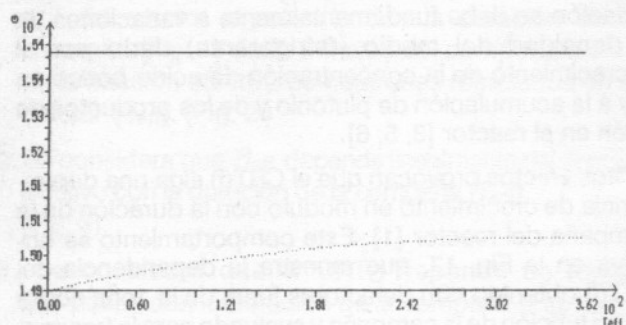


Figura 1
Dependencia de la función transferencial del reactor a potencia con la duración de la campaña.

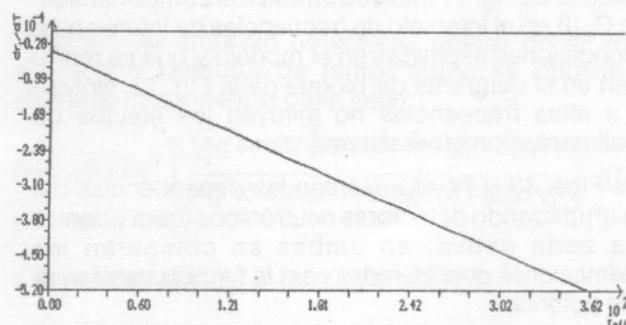


Figura 4
Comportamiento del coeficiente de reactividad por temperatura para el combustible con la campaña.

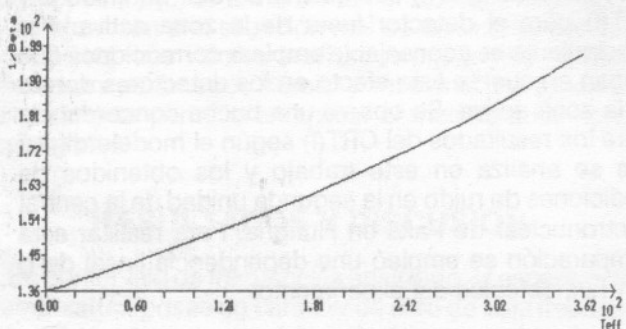


Figura 2
Dependencia de $1/\beta_{eff}$ con la duración de la campaña.

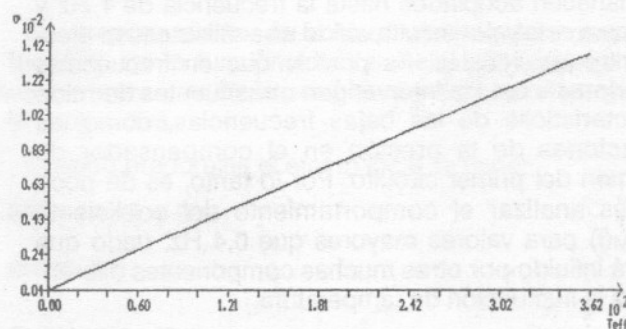


Figura 5
El parámetro de convección del efecto global y su dependencia con la campaña.

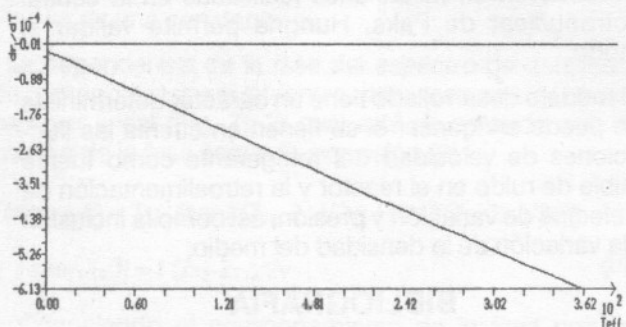


Figura 3
Comportamiento del coeficiente de reactividad por temperatura para el moderador con la campaña.

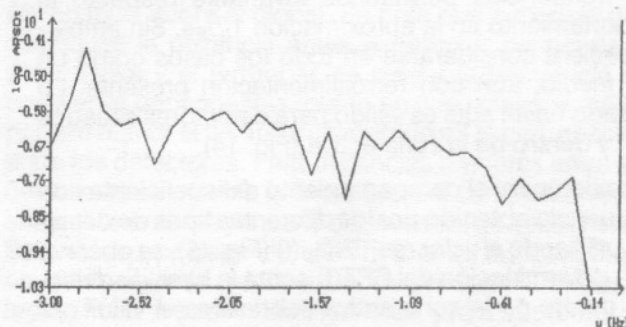


Figura 6
Espectro de densidad de potencia para la fluctuación de temperatura.

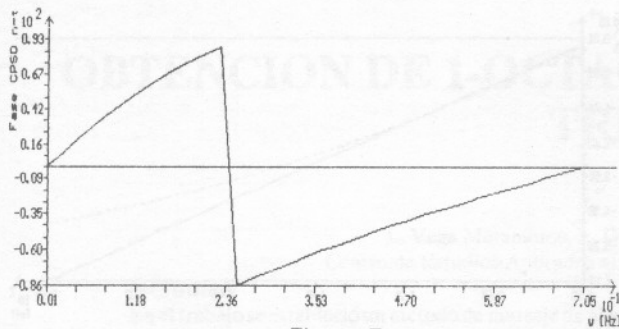


Figura 7

Fase del espectro de densidad de potencia espectral cruzada entre dos termopares.

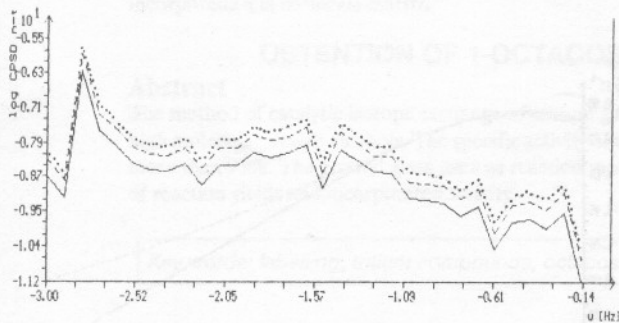


Figura 8

Densidad de potencia espectral cruzada entre el campo neutrónico y el de temperatura y su dependencia con la frecuencia.

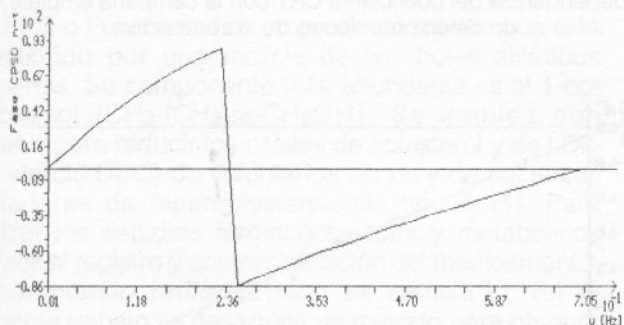


Figura 9

Fase del acoplamiento entre los campos N-T.

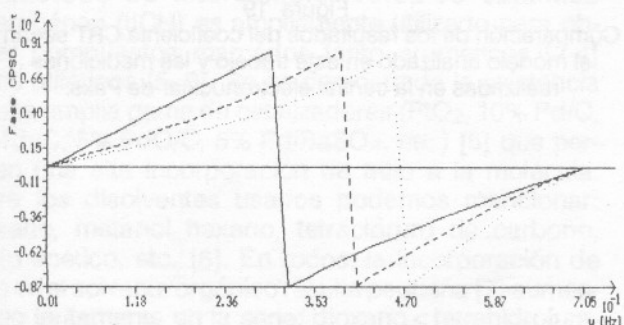


Figura 10

Fase con la frecuencia para el campo N-T. Influencia del carácter local sobre el global.

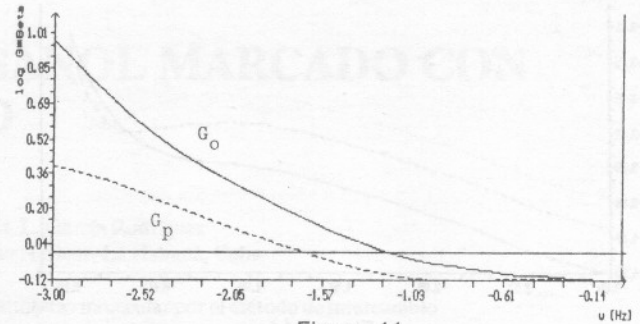
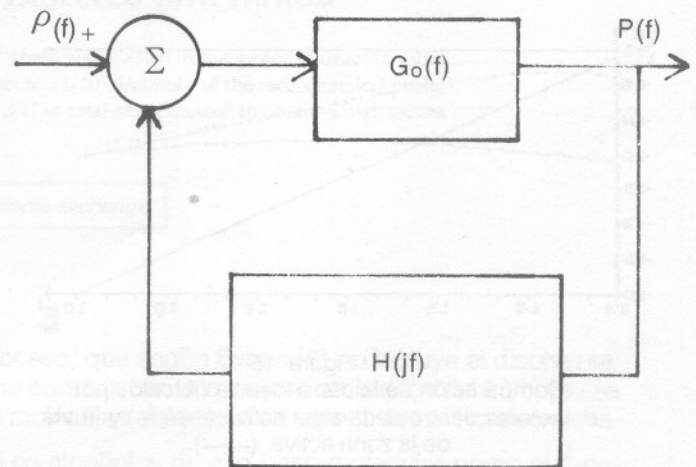


Figura 11

Función transferencial a potencia (---) y a potencia 0 (—) y su dependencia con la frecuencia.



$$G_p(f) = \frac{G_0(f)}{1 + G_0(f) H(jf)}$$

Figura 12

Diagrama de bloque para la retroalimentación. ($H(jf)$) representa la contribución de los efectos de cambios de temperatura en el combustible y el moderador.)

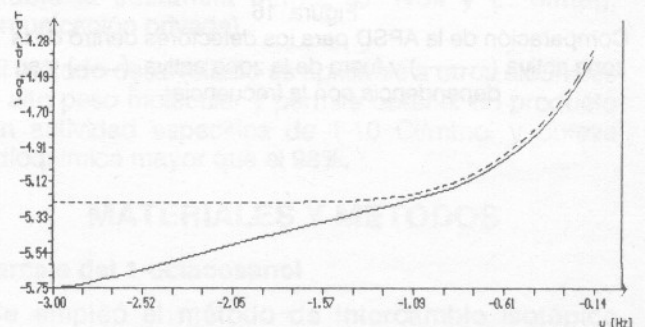


Figura 13

Dependencia del coeficiente de reactividad por temperatura para la aproximación $1/\beta_{eff}$ (---) y con retroalimentación (—) sobre la base de detectores fuera de la zona activa.

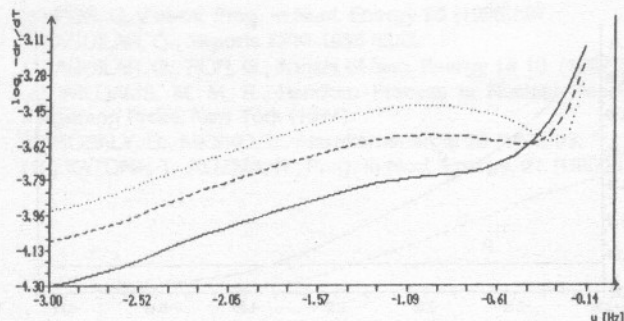


Figura 14

Dependencia del coeficiente de reactividad por temperatura para la aproximación $1/\beta_{eff}$ (---) y con retroalimentación (—) sobre la base de detectores dentro de la zona activa.

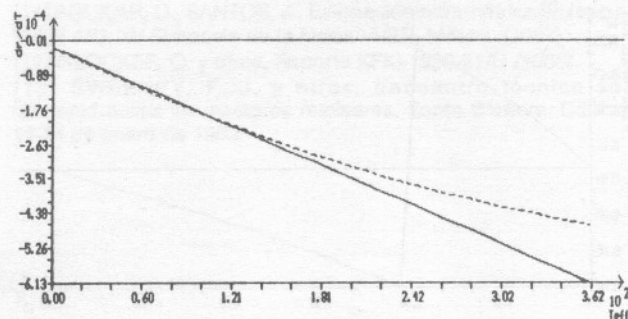


Figura 17

Crecimiento del módulo del CRT con la campaña en la aproximación (---) y con la retroalimentación.

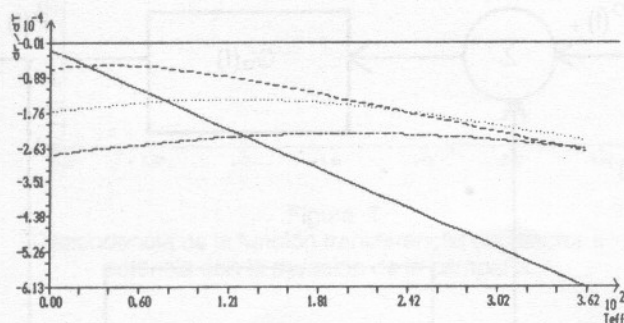


Figura 15

Comparación de la dependencia obtenida por detectores dentro de la zona activa (---) y fuera de la zona activa (—).

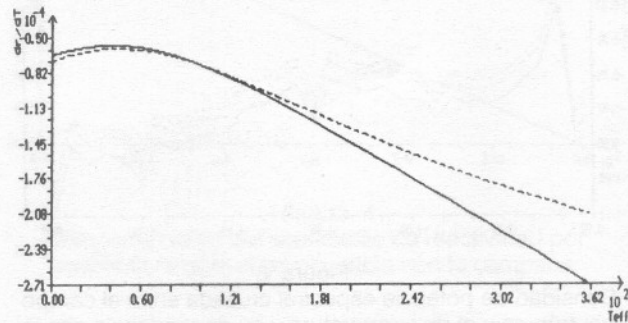


Figura 18

Dependencia del coeficiente CRT con la campaña empleando detectores dentro de la zona activa.

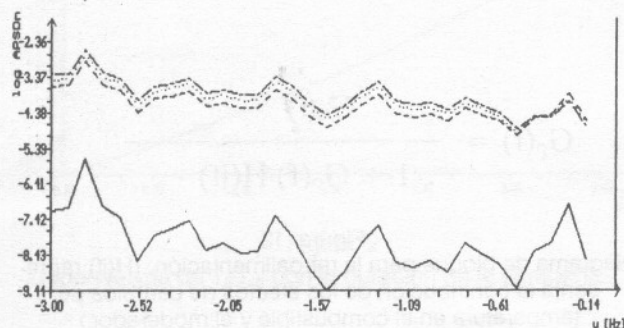


Figura 16

Comparación de la APSD para los detectores dentro de la zona activa (---) y fuera de la zona activa (—) y su dependencia con la frecuencia.

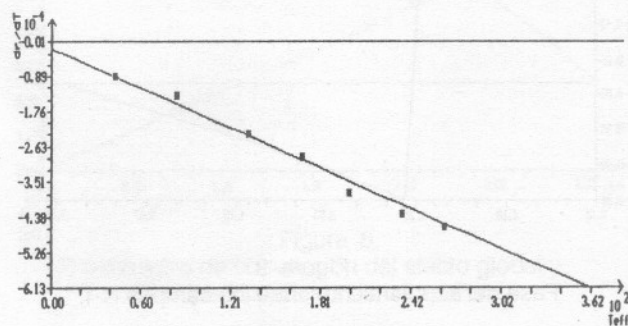


Figura 19

Comparación de los resultados del coeficiente CRT según el modelo analizado en este trabajo y las mediciones realizadas en la central nuclear de Paks.

OBTENCION DE 1-OCTACOSANOL MARCADO CON TRITIO

L. Vega Matamoros, L. Ducat Pagés, L. García Rodríguez
Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear, La Habana, Cuba

Resumen

En el trabajo se estableció un método de marcaje de alcoholes de alto peso molecular por el método de intercambio isotópico catalítico con tritio gaseoso en fase sólida. Con este método se obtuvo un producto con actividad específica de 1-10 Ci/mmol y pureza radioquímica superior al 98%. La utilización de vidrio molido como medio de reacción y Pd/C como catalizador permitió alcanzar altos rendimientos de marcaje y altos valores de actividad incorporada a la molécula matriz.

OBTENTION OF 1-OCTACOSANOL LABELLED WITH TRITIUM

Abstract

The method of catalytic isotope exchange of tritium gas in solid phase was studied in this paper in order to label high molecular weight alcohols. The specific activity of the product was 1-10 Ci/mmol and the radiochemical purity more than 98%. The ground glass used as reaction media and Pd/C as catalyst, permitted to obtain a high values of reaction yields and incorporated activity.

Key words: labelling, tritium compounds, octacosanol, isotopic exchange.

INTRODUCCION

El PPG o Policosanol es un producto natural que está constituido por una mezcla de alcoholes alifáticos primarios. Su componente más abundante es el 1-octacosanol $[\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{26}-\text{CH}_2\text{OH}]$. Se emplea con eficacia para reducir los niveles de colesterol y de LDL-colesterol (LDL-C) de voluntarios sanos y de pacientes portadores de hipercolesterolemia tipo II [1]. Para realizar los estudios farmacocinéticos y metabólicos previos al registro y comercialización del medicamento, el compuesto radiomarcado es necesario. En el presente trabajo se desarrolla un método para obtener 1-octacosanol marcado con tritio mediante el intercambio isotópico catalítico.

El método de intercambio isotópico catalítico heterogéneo (IICH) es ampliamente utilizado para obtener compuestos marcados tanto aromáticos [2-4] como alifáticos [5, 6]. Se ha demostrado la existencia de una amplia gama de catalizadores (PtO_2 , 10% Pd/C, 5% Rh/C, 5% PdO/C, 5% Pd/ BaSO_4 , etc.) [5] que permiten una alta incorporación de tritio a la molécula. Entre los disolventes usados podemos mencionar: dioxano, metanol hexano, tetracloruro de carbono, ácido acético, etc. [6]. En todos, la incorporación de tritio en el solvente orgánico resulta pequeña [7] aumentando lentamente en la serie: dioxano < tetrahidrofuran < acetato de etilo. En los solventes con hidrógenos protolíticos, las pérdidas de tritio por intercambio isotópico aumentan drásticamente. En los ejemplos citados se trata de que la sustancia matriz se disuelva en el solvente. Esto no viene dado por el mecanismo del

proceso, que según Evans [8] no incluye el disolvente, sino para buscar una mejor distribución del tritio, ya sea en moléculas aisladas o en agregados polimoleculares.

Los alcoholes de alto peso molecular como el 1-octacosanol son sustancias naturales poco solubles en la mayoría de los solventes orgánicos, lo que nos obligó a buscar nuevas vías de reacción de intercambio isotópico heterogéneo. Además, en la literatura especializada consultada no se encontró ninguna referencia sobre el marcaje de este tipo de compuestos. La reacción se llevó a cabo en fase sólida empleando vidrio molido como vínculo entre el catalizador y el tritio gaseoso, asumiendo que el comportamiento hidrodinámico del vidrio molido en condiciones de agitación constante es similar al de un líquido en el que no es soluble la sustancia matriz (S. Noll y E. Mittag, comunicación privada).

El método desarrollado es aplicable a otros alcoholes de alto peso molecular y permite obtener un producto con actividad específica de 1-10 Ci/mmol y pureza radioquímica mayor que el 98%.

MATERIALES Y METODOS

Marcaje del 1-octacosanol

Se empleó el método de intercambio isotópico heterogéneo. Para el marcaje se utilizó la instalación de vacío que muestra la Fig. 1. En el balón de reacción C se mezclaron en proporción 1:5:10 el 1-octacosanol (de la firma Sigma, EE.UU.), el catalizador Pd/C 5% (de la firma Merck, Alemania) y el vidrio molido. La instalación

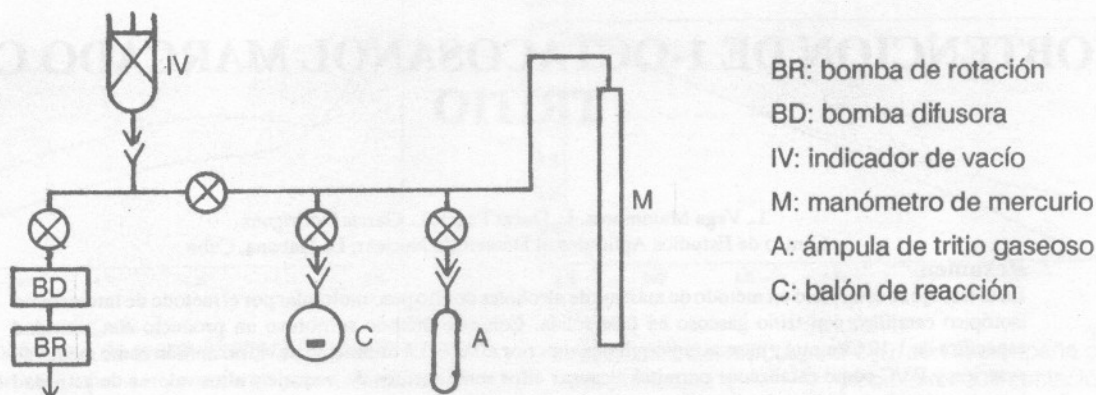


Figura 1

Esquema de la instalación de vacío empleada para el marcaje con tritio gaseoso.

de vacío se evacuó hasta un valor de 10^{-2} mm/Hg. Se introdujo en el sistema el tritio gaseoso (de la firma NEN Dupont, EE.UU.) del balón A, regulado por la variación de la altura de la columna de mercurio en M. La reacción transcurrió entre 6 y 8 h con agitación. Pasado este tiempo se evacuó el tritio residual, se separó el balón C de la instalación, se añadieron 2 ml de benceno y se centrifugó la suspensión para separar el vidrio molido y el catalizador.

Eliminación del tritio en posiciones lábiles

Se empleó el método de liofilizaciones sucesivas. El compuesto marcado se disolvió en una solución de benceno: etanol (3:1) y se liofilizó. El residuo seco se redisolvió en la misma solución y se liofilizó nuevamente. El proceso se repitió varias veces hasta lograr que la actividad fuera constante.

Purificación del producto

Se llevó a cabo por cromatografía de placa preparativa. El compuesto marcado disuelto en benceno se aplicó en forma de banda en una placa de silicagel (Merck 20x20) y se corrió en cloroformo. Se raspó la banda que correspondía al R_f del producto y se disolvió en benceno. Se separó el silicagel por centrifugación y se concentró la solución.

Control de la pureza radioquímica

Se empleó la cromatografía en capa delgada en placas de silicagel UV254 (Merck 5x20). Se utilizó como solvente cloroformo. La actividad se determinó con un

contador de centelleo líquido (Rack Beta 1217 LKB, Suecia), midiendo bandas de 1 cm del cromatograma.

Las manchas inactivas se revelaron en cámaras de yodo. La pureza radioquímica se expresa como la relación entre la actividad del pico que corresponde al R_f del patrón y la actividad total del cromatograma, expresada en porcentaje.

Control de pureza química

Se realizó por cromatografía gaseosa en un cromatógrafo Shimadzu modelo CG-14A, con un detector de ionización por llamas, un procesador computarizado de datos y una columna capilar SPB-5 de 30 mm de largo y 0,32 mm de diámetro interno. Se aplicaron aproximadamente 1-2 μ l de muestra y la identificación del octacosanol marcado se realizó por comparación con un patrón de referencia del mismo alcohol.

Cálculo de la actividad específica

Se determinó dividiendo la actividad total del compuesto purificado entre la pureza radioquímica de este, asumiendo que la masa del producto marcado es igual a la masa por el rendimiento de la reacción relativo a la sustancia matriz.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se realizaron diferentes marcajes con el método descrito. Los marcajes 2 y 3 (tabla 1) fueron los adecuados para obtener un producto con las características requeridas, pues una actividad específica

Tabla 1
Resultados del marcaje

Marcaje	Cant. de octac. (mg)	Cant. de Pd/C (mg)	Cant. de vid. molido (mg)	T. de reacción (min.)	Act. del tritio (Ci)	Act. del com. marc. (Ci)	Rend. del marcaje (%)	Pureza r/q del octac. (%)	Act. especif. del octac. Ci/mmol
1	10	50	100	1440	25	4	16	23	40
2	15	55	150	360	4,3	0,115	2,6	35	3,1
3	10	55	150	360	5	0,2	4	30	8,2

demasiado alta provoca la rápida destrucción del producto. El marcaje 3 permitió obtener el compuesto marcado de manera rápida y con los requerimientos exigidos por los usuarios en cuanto a actividad específica, pureza radioquímica y conservación de las propiedades del producto.

De la misma forma que el tritio incorporado en posiciones lábiles se intercambia con los átomos de hidrógeno del agua y otros disolventes protolíticos, los radicales de tritio formados en el marcaje se incorporan en estas posiciones, de manera que más del 80% del tritio se enlaza con los átomos de O, N, S y P presentes en la molécula matriz. Aunque el 1-octacosanol contiene un solo hidrógeno en posición lábil (carbono 1-OH), más del 50% del tritio se incorpora en esta posición, debido a que al ser este un grupo hidróxilo terminal, no representa dificultades estéricas al ataque de los átomos de tritio. Este tritio lábil debe ser eliminado inmediatamente después del marcaje. Esto se logró mediante el método de liofilizaciones sucesivas.

Luego de cada liofilización el producto fue perdiendo actividad hasta que esta llegó a ser constante (Fig. 2). Las moléculas de etanol intercambian hidrógeno con el tritio hidroxílico del compuesto marcado. Los átomos de tritio enlazados con átomos de carbono son retenidos fuertemente por estos y no toman parte en el intercambio isotópico con el etanol. Cuando todo el tritio lábil ha sido eliminado, la actividad del compuesto marcado es constante y se localiza en posiciones estables C-³H. Este método tiene como inconveniente que cada liofilización dura 6-8 horas, por lo que el proceso demora varios días.

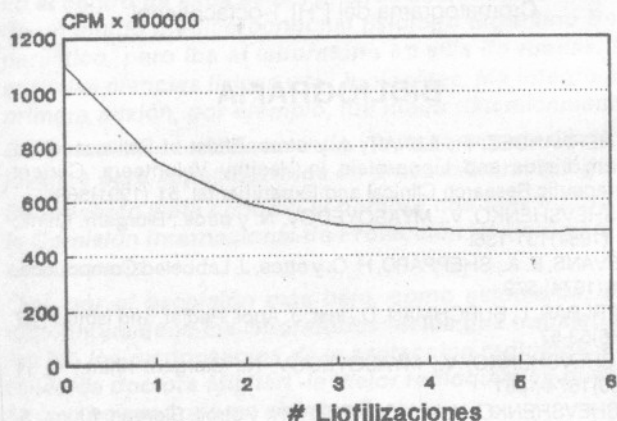
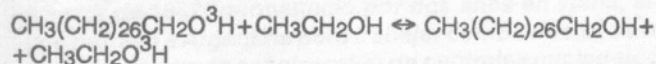


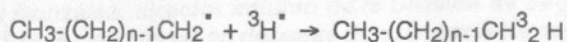
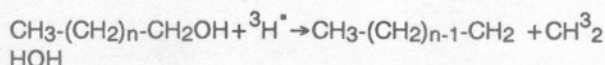
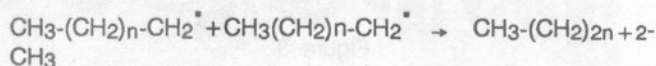
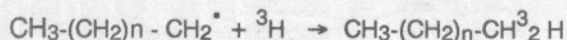
Figura 2
Eliminación del tritio lábil.

La reacción de eliminación del tritio lábil se puede presentar de la siguiente forma:



El marcaje por el método de IICH puede provocar la presencia de algunas impurezas radiolíticas con un alto contenido de tritio. Estas impurezas aparecen por

procesos de radiólisis y de autorradiólisis, como consecuencia de la exposición a altas actividades de tritio. Entre los procesos radiolíticos más frecuentes están el rompimiento de los enlaces C-C, la formación de radicales, el desprendimiento de grupos funcionales, la recombinación de radicales, entre otros. En los alcoholes de alto peso molecular como el octacosanol, pueden ocurrir los siguientes procesos:



De aquí se deduce la posible formación de impurezas radiactivas de mayor y menor peso molecular. Lo anterior indujo a buscar un sistema cromatográfico que permitiera separar lo mejor posible todos los contaminantes para garantizar una pureza radioquímica superior al 98% y un Rf del producto aproximadamente igual a 0,5. De los sistemas cromatográficos estudiados para determinar el Rf del octacosanol (tabla 2), el sistema 5 fue el más conveniente, ya que permitió alcanzar un mayor Rf del producto (0,33), una mejor separación de los contaminantes y una pureza radioquímica superior al 98%.

Tabla 2
Resultados del estudio cromatográfico

No.	Solventes	Soporte	Rf
1	Cloroformo-n-hexano (1:1)	FN2	0
2	Cloroformo-n-hexano (1:1)	Silicagel F254	0,11
3	Cloroformo-n-hexano (1:2)	Silicagel F254	0,06
4	Cloroformo-n-hexano (2:1)	Silicagel F254	0,16
5	Cloroformo	Silicagel F254	0,33
6	n-Butanol	Silicagel F254	0,06

Cuando se compara el histograma del [³H]-1 octacosanol sin purificar (Fig. 3) con el histograma del [³H]-1 octacosanol purificado (Fig. 4), se aprecia en el compuesto marcado sin purificar la presencia de productos de la radiólisis (no identificados en este trabajo); el [³H]-1 octacosanol purificado según el método descrito muestra un solo pico de actividad que se corresponde con el Rf del patrón.

El método de cromatografía gaseosa permitió comprobar la correspondencia del cromatograma del octacosanol marcado con tritio con el del patrón de

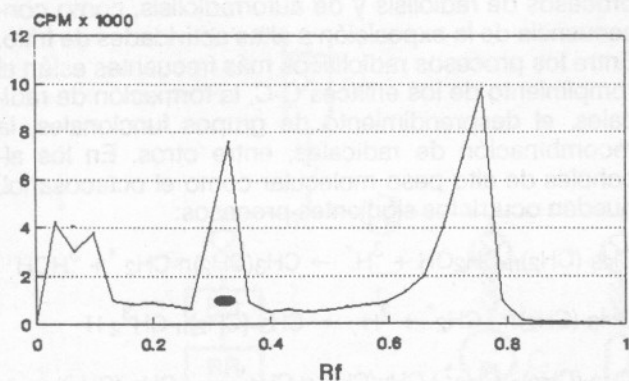


Figura 3
Compuesto marcado sin purificar.

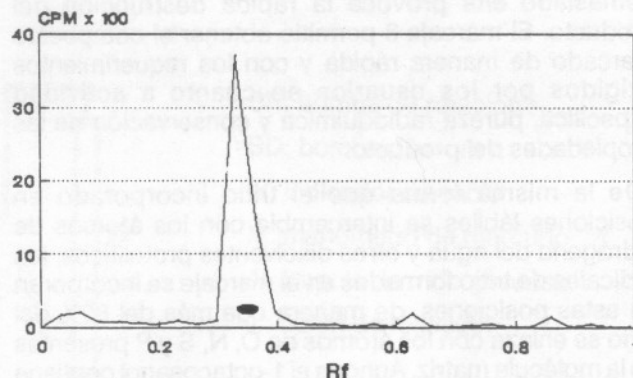


Figura 4
Compuesto marcado purificado.

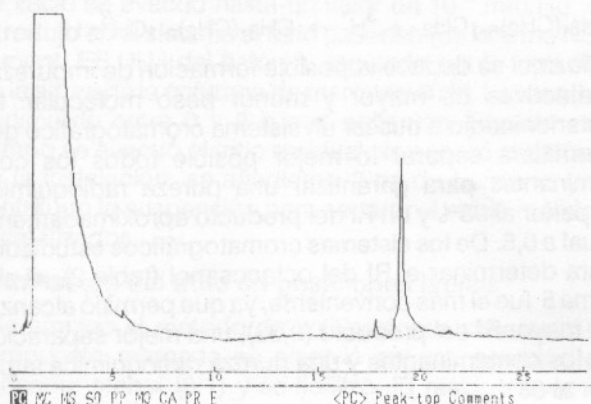


Figura 5
Cromatograma del 1-octacosanol.

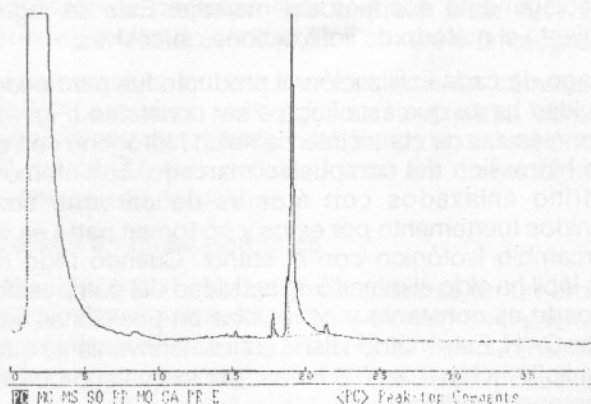


Figura 6
Cromatograma del $[^3\text{H}]$ 1-octacosanol.

referencia de este mismo alcohol (Figs. 5 y 6) y se determinó que la pureza química es mayor que el 95%.

CONCLUSIONES

1. Se obtuvo $[^3\text{H}]$ octacosanol con valores de actividad específica de 1-10 Ci/mmol y pureza radioquímica mayor que el 98%.
2. Se desarrolló un método rápido y efectivo para obtener alcoholes de alto peso molecular marcados con tritio basado en el intercambio isotópico catalítico heterogéneo con el tritio gaseoso en fase sólida.
3. Se comprobó en la práctica el diseño de la línea de marcaje disponible y su utilidad para obtener los más diversos compuestos marcados con tritio.

BIBLIOGRAFIA

- [1] HERNANDEZ, F., ILLNAIT, J. y otros, Effect of Policosanol on Serum Lipids and Lipoprotein in Healthy Volunteers. *Current Therapeutic Research Clinical and Experimental*, **51** (1991)568.
- [2] SHEVSHENKO, V., MYASOYEDOV, N. y otros., *Biorgan. Khim.*, **7**, 1 (1981)131-135.
- [3] EVANS, E. A., SHEPPARD, H. C. y otros, *J. Labeled Compounds*, **10** 4 (1974).579
- [4] PRI-BAR, I., BURCHMAN, D., *Inst. J. Appl. Radiat. and Isotop.*, **27** (1976)53-57.
- [5] SHEVSHENKO, V., MYASOYEDOV, N., *Biorgan. Khim.*, **6**, 11 (1980)1674-1681.
- [6] SHEVSHENKO, V., MYASOYEDOV, N. y otros, *Biorgan. Khim.*, **5**, 6 (1979)906-910.
- [7] HANUS, J., CERNY, B. y otros, *Labell. Compounds* **10** (1974) 523-531.
- [8] EVANS, E., *Tritium and its Compounds*, London, Butterworths (1974)

PANORAMA NUCLEAR



Una crisis subjetiva

Por: Jorge Petinaud Martínez

La casualidad signó desde temprano la vida del argentino Abel González, director adjunto de la División de Seguridad Nuclear del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), quien de sus cinco décadas de existencia ha dedicado tres a la protección contra las radiaciones.

Hoy compara la anécdota inicial con un cuento de hadas: "Mi padre era albañil jefe de cuadrilla, y un día al romper una pared hueca descubrió muchísimos libros. Aquella biblioteca clandestina le resultó un tesoro. Tenía poca preparación cultural, pero quería que yo estudiara. Recogió cuantos libros pudo y me los llevó a la casa. Jamás hubiera podido comprarlos."

Era la época de furor del anarquismo en Argentina, por lo cual Abel González supone que algún perseguido escondió allí aquellos volúmenes, de contenido político en su mayoría. Mas, también había una serie importante de divulgación sobre física nuclear, que el niño de doce años leyó con inusual interés.

Desde entonces los misterios del núcleo atómico devinieron obsesión para aquel adolescente que se hizo famoso en la Biblioteca Nacional por sus frecuentes visitas y por el contenido de sus solicitudes.

No había cumplido los 15 cuando lo invitaron a participar en uno de los primeros programas de la televisión argentina. Se trataba de un espacio de preguntas y respuestas, donde ganó un premio que le permitió costearse los estudios hasta matricular en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

En el centro de altos estudios otros acontecimientos casuales definieron aún más su perfil profesional: "Por intermedio de un amigo médico conocí al fisiólogo argentino Bernardo Usá, premio Nobel de medicina en 1949. Estaba ya casi parálítico, pero iba al laboratorio en silla de ruedas. Me causó un impacto brutal. El fue el puente que yo necesitaba entre las ciencias físicas y las biológicas. Me integró a su equipo, dándome participación en diversos experimentos; mi primera misión, por ejemplo, fue medir dinámicamente la presión en la cola de una rata."

Era estudiante todavía cuando vio la convocatoria de la Comisión Nacional de Energía Atómica, que buscaba algunos jóvenes para especializarlos en protección radiológica.

Se presentó y allí conoció al hombre que más influyó en el resto de su carrera: el doctor Beninson, hoy presidente de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, considerado por muchos como la mayor autoridad del mundo en esta materia.

"Así, por el escalafón más bajo, como estudiante, entré en la Comisión. Mis tareas iniciales eran las más simples: descontaminaba los laboratorios en los que trabajaban los médicos. En esa época -fines de los años 50 y principios de los 60- los responsables de la protección radiológica en Argentina éramos cuatro personas: Beninson, su esposa, la ya fallecida doctora Miglieri -la mejor radioquímica que tuvo mi país-; el ingeniero Placer y yo. Ese fue el núcleo inicial de lo que hoy es todo un sistema."

Una vez graduado, Abel González creó un grupo de instrumentación radiosanitaria, y más adelante lo nombraron delegado alerno por Argentina en la Comisión de Naciones Unidas para el Estudio de las Radiaciones.

Llegó a ocupar la máxima responsabilidad nacional en materia de protección radiológica y seguridad nuclear, e ingresó como miembro en el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), trabajando simultáneamente como asesor del OIEA en diversos países.

A partir de 1982, permaneció por dos años en Viena, al frente de la sección de protección radiológica del OIEA, hasta que regresó a Argentina para trabajar como director de la Comisión Nacional de Energía Atómica, y más adelante presidir la empresa para la construcción de centrales nucleoelectricas que tiene Argentina (con un 25 por ciento de participación de la Siemens).

Usted es un testigo de excepción respecto a la industria nuclear. ¿Qué opina acerca de la crisis de credibilidad en la que ha entrado la seguridad en estas instalaciones en los últimos años?

Le contestaré con algunos elementos objetivos y con otros subjetivos, porque en el fondo es una crisis subjetiva. Para empezar tenemos que definir cuáles son sus temas.

El primero es la potencialidad de accidentes catastróficos; el segundo, los residuos radiactivos y el tercero, la proliferación nuclear.

Los tres temas son básicamente falsos, pero la gente no los crea porque esté loca, sino porque han ocurrido situaciones objetivas, concretas, amplificadas por la prensa, no por mala fe, sino porque eran buenas noticias para vender; con "gancho", como suelen decir los periodistas.

¿Cuáles son las situaciones objetivas? En el tema de los accidentes catastróficos ocurrió uno: el de Chernobil, cuando toda la inteligencia tecnológica le había transmitido al público -directa o indirectamente- que era imposible que un accidente así ocurriera.

En el tema de los residuos radiactivos, la inteligencia tecnológica le transmitió a la gente -quizás sin quererlo- que el problema de los residuos es gravísimo. Y en el tema de la proliferación, sabemos perfectamente que un programa pacífico no es proliferante, sin embargo en algunos estados hubo intentos, que por lo menos no fueron claros, y que se asociaron con la proliferación de armas nucleares.

En el tema de los accidentes catastróficos, creo que la inteligencia tecnológica cometió el error de no decir claramente que la imposibilidad científica no existe. Todo es posible teniendo en cuenta el nivel de probabilidades.

Nadie en el mundo puede decir que un evento es imposible de que ocurra, cualquier evento en el mundo puede ocurrir. Lo que hay son grados de probabilidades. Puede caer un

meteorito sobre La Habana y destruirla. Nadie puede decir que eso es imposible. Lo que sí es cierto es que se trata de un evento infinitamente improbable, tan improbable que no nos preocupa.

Se le debía haber dicho a la gente mensajes que no se dijeron: el primero es que un accidente nuclear, en un reactor nuclear bien concebido, bien construido y bien operado, no era un evento imposible, pero sí muy improbable. Y sin duda, controlable y liquidable.

Y el otro mensaje importante que no se dijo es que se estaban operando reactores en la Unión Soviética que claramente no respondían a una ola internacional de consenso en materia de seguridad. Eso tampoco se dijo.

Luego ocurrió un accidente muy serio, muy severo, una verdadera catástrofe debido a problemas bien concretos y efectivos de seguridad operativa.

Lamentablemente lo que tampoco ha llegado después a la gente es que aun ese accidente, esa catástrofe absoluta, realmente no ha tenido consecuencias sanitarias significativas. Esto es algo que la gente no sabe, un mensaje que no hemos sabido transmitir con claridad.

Cuando yo explico que el impacto total mundial de la catástrofe de Chernobil equivale a 25 días de radiación natural no me lo creen.

En el tema de los residuos radiactivos, lo que ocurre es que los especialistas nucleares han impuesto una ética de protección a la cual el mundo no está acostumbrado, y como consecuencia la gente se preocupa.

El mundo jamás se ha preocupado de los residuos. Ha generado miles de metros cúbicos de desechos, y solo se ha ocupado de tirarlos.

Hay un ejemplo que para mí es significativo: la catedral de Viena, la de San Estefan, en su plaza principal, por debajo de ella, hay dos trenes

subterráneos; y si uno rompe y busca ahí, se puede ver abajo la primitiva catedral. Cuando cavaron para hacer los túneles tuvieron que desviarse para salvarla; y hoy se le puede ver a través de una vitrina desde la estación del subterráneo.

Lo que la gente no se pregunta, curiosamente es, ¿por qué esa catedral está allá abajo y la otra está allá arriba?, hay una diferencia muy grande entre el piso de la catedral de arriba y el de abajo, que es mucho más viejo. Esto último estaba al nivel que tenía el centro de Viena en esos momentos. ¡Y la diferencia entre el nivel de abajo y el de arriba son los residuos!

"Los especialistas nucleares en lugar de tomar los residuos nucleares y tirarlos al ambiente han generado una nueva ética: la de preservar el medio ambiente. ¡Una ética ecológica!"

Casas demolidas, residuos humanos tirados, polvo acumulado...; el hombre no se preocupa y no se sigue preocupando por los residuos de nada de lo que hace; simplemente los tira al ambiente, transforma el medio.

De ahí que los arqueólogos puedan estudiar la historia del hombre sobre la base de sus residuos.

Y todo esto que fue una tradición humana, buena, mala, regular, fue cambiado por los especialistas nucleares. Ellos, por motivos que no deseo mencionar ahora, pues no sería éticamente correcto, han transformado esta manera de pensar del hombre.

En lugar de tomar los residuos nucleares y tirarlos al ambiente, como lo hicieron otros en el pasado, han generado una nueva ética: la de retener esos residuos, concentrarlos y guardarlos donde el hombre no tenga ningún acceso, la de preservar el medio ambiente. ¡Una ética ecológica!

Pero, ¿cuál es el resultado? En la gente ha provocado pánico. Yo no lo comprendía, y una vez lo aprendí hablando con mi madre. Estaba en Buenos Aires, comenzamos a hablar y

me dijo: "pero ustedes temen por eso de los residuos".

Le explico: la gente los va a concentrar, después los van a introducir en unos vidrios que tienen la posibilidad de permanecer intactos por mil años, y después los van a incluir en un contenedor especial de otro material; y después hay otro contenedor más de plomo, y después hay un agujero más en una roca superestable que cuesta mucho encontrar, hay pocas en el mundo; y vamos a hacer un agujero que tenga mil y pico de metros...

Y mientras yo le hablaba veía que mi madre abría los ojos despavorida. Y cuando pudo hablar me dijo: "¡Con todo, eso debe ser peligrosísimo!".

Y lo que nadie en el mundo sabe -y la culpa la tenemos los especialistas nucleares- es que si en estos momentos se utilizara la ética tradicional (tirar los desechos al aire, al mar, al suelo, sin diluirlos y aislarlos), el nivel de radiación natural del mundo no se alteraría ni un ápice.

Lo podemos medir, porque los instrumentos de medición, de control de las dosis de radiaciones que nosotros hemos inventado son los más eficaces en la historia del hombre. Podemos medir cosas infinitamente pequeñas.

Pero estamos sufriendo por ser los primeros en una transformación ecológica que el mundo va a necesitar; y lo que estamos haciendo nosotros en la rama nuclear ahora, tarde o temprano lo van a tener que hacer todos. A nosotros nos han seguido los genotóxicos de la industria química; ya se dan cuenta de qué tienen que hacer. Y después el otro y el otro. Pero nosotros estamos recibiendo las cachetadas.

Es decir, el segundo aspecto no es un problema real, lo hemos generado nosotros por nuestra ética. Y el mundo se alarma por nuestra posición, estamos en una situación de cambios. Cuando dentro de 200 ó 300 años esta actitud esté generalizada ya no será una preocupación.

Y en el campo de la proliferación, bueno, los técnicos sabemos que un

programa pacífico no puede ser proliferante. Y para no cansar con explicaciones técnicas, diré lo más simple: aquellos que hicieron bombas nucleares no las hicieron con reactores que generaran electricidad, no con un programa pacífico. Lo lograron con proyectos que solo tienen de común con los de carácter pacífico la palabra nuclear. Todo lo otro tiene carácter bélico.

Si un país toma la decisión política de poseer el arma nuclear va a encaminarse por esa vía.

Obviamente hay gobiernos que han cometido errores casi infantiles y le han dado una mala imagen al mundo, como ocurrió recientemente con Iraq, cuyos errores provocaron un daño tremendo al desarrollo de la energía nuclear.

¿Cómo saldrá el OIEA de esta crisis de credibilidad?

Quizás no sea demasiado, pero algo está haciendo. En el tema de seguridad nuclear el Organismo ha ampliado enormemente su programa de actividades, y ha tratado y sigue tratando de convencer al mundo de que la única manera de salir del problema de credibilidad en el campo de la seguridad, es con el establecimiento de un régimen internacional de seguridad apoyado por un compromiso concreto de todos los estados a través de una convención.

Nosotros creemos firmemente en eso. La industria nuclear ha madurado lo suficiente como para que repitamos experiencias de la industria aeronáutica.

La aviación tuvo un momento en que cada compañía hacía lo suyo, los aviones volaban como querían, las luces se ponían de distinta forma, era diferente el largo de las pistas, colocadas de una forma, de otra; diferentes frecuencias en los aeropuertos para comunicarse. Era un caos.

Entonces hubo un momento de consenso, que no puede ser impuesto, surgió como resultado de querer hacer un régimen de seguridad aeronáutica para tener un transporte aéreo seguro.

Crearon la Organización Aeronáutica Civil Internacional, establecieron un régimen desde finales de los años 40, y se hizo posible la industria aeronáutica.

La industria nuclear tiene que acercarse a algo parecido. Debo aclarar que la idea de un régimen no quiere decir que queremos imponer una autoridad supranacional, de la misma manera que en la aeronáutica no hay una autoridad supranacional; cada país sigue siendo hegemónicamente responsable de la seguridad, nadie usurpa su responsabilidad soberana.

Pero los países voluntariamente acuerdan cierta armonización en materia de seguridad, y se comprometen a ejecutarla sin lesionar la soberanía nacional.

Mientras se logra ese consenso ayudamos a los países para fortalecer las estructuras nacionales de protección.

En el tema de los residuos radiactivos estamos realizando una gran campaña esclarecedora, y en el tema de la proliferación usted sabe que el OIEA tiene estrecha colaboración con el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas para evitar que se repitan lamentables experiencias.

Estos son los temas que, según los periodistas, principalmente han puesto en crisis a la industria nuclear, pero personalmente creo que hay otro: las razones económicas objetivas.

El problema es que el mundo ha entrado en una crisis económica que tiene dos características: la primera se debe al tremendo aumento en la eficiencia industrial, el crecimiento del consumo energético es menor que el que se esperaba. Ya no existe la presión de los años 60 para conseguir energía abundante y barata.

Basta ver el televisor de una casa. Yo recuerdo el de la mía, con unas válvulas de este tamaño...; calentaba, consumía mucha energía. Y ahora con cuatro transistores se ve mucho mejor.

Pues si esto usted lo multiplica en todas las maquinarias, los costos

energéticos se reducen considerablemente.

El segundo factor es la suma de las tasas de interés en los países de economía de mercado, el fondomonetarismo y lo que se dio a conocer como el thatcherismo. Eso ha provocado que la estrategia económica a largo plazo haya cambiado en el mundo.

Nadie quiere invertir en una central electronuclear que demora diez años construyéndose, y que requiere un capital inicial muy importante para recibir beneficios muchos años después sobre la base del costo operativo. En estos momentos esas economías empujan a los costos

"La energía nuclear desde el punto de vista de la protección ecológica global es una solución fabulosa, preserva los recursos no renovables para el hombre y es mucho menos contaminante."

operativos altos con inversiones bajas. A la energía nuclear le es muy difícil competir en estas condiciones.

Pienso que esto puede ser muy interesante desde el punto de vista contable, mas, es una barbaridad dentro de una estrategia global energética a largo plazo.

Estamos legando una deuda a nuestros nietos y bisnietos. Les estamos quemando los recursos naturales no renovables, les estamos contaminando la atmósfera tremendamente con anhídrido carbónico; exponemos al mundo al tremendo peligro del efecto invernadero, los agujeros en la capa de ozono; en fin, estamos incurriendo en una absoluta irresponsabilidad.

No me puedo imaginar qué pensarán ellos de nosotros. Alguien tiene que pensar seriamente en este problema. El futuro no puede ser casual.

La energía nuclear, obviamente, puede ser que provoque algunos problemas a los inversionistas; pero desde el punto de vista de la protección ecológica global es una solución

fabulosa, preserva los recursos no renovables para el hombre y es mucho menos contaminante.

Cada vez con más frecuencia se habla de la falta de seguridad de los reactores fabricados en Europa del Este. Cuba construye una nucleoelectricidad de tecnología rusa...

Se han mezclado en esto muchas cosas, la desintegrada Unión Soviética produjo reactores muy malos y otros muy diferentes; hay un gran espectro. También es cierto que algunos de esos reactores tienen importantes dispositivos para darles más seguridad.

Creo que no se ha realizado una evaluación global. El Organismo Internacional de Energía Atómica realizó un estudio y recomendó parar los reactores más malos (los VVER modelo 230), y sugirió mejoras para otros. Eso ayudará a elevar el nivel de confianza.

En muchas centrales del tipo VVER, uno de los problemas principales es la chapucería, hay una seguridad operativa muy mala, marcada por esta chapucería. Si la gente tiene una adecuada formación hace las cosas bien.

No se puede estar en una CEN donde las paredes estén descascaradas; las puertas y el piso rotos. Estas tonterías pueden hacer que quien tiene que ocuparse de los problemas importantes se tenga que dedicar a cuestiones secundarias. Y eso después afecta la seguridad de la planta.

En esto también los competidores occidentales fueron más hábiles: fabricaron reactores que exhiben un amplio consenso internacional, le dedican gran esfuerzo a la seguridad; pero al mismo tiempo han documentado, de manera que haya trazabilidad, que uno pueda trazar, comprobar por la documentación por qué una válvula es segura, ver el plano, los cálculos, quién los hizo, con qué material; si es cierto que se trata de ese y no de otro. A todo eso le llamamos trazabilidad. Y en eso las

empresas occidentales fueron más inteligentes.

En cuanto a Cuba, estuve en Juraguá y vi el modelo mejorado de reactor VVER -del tipo V-318, muy similar al de la CEN finesa de Loviisa-, creo que si se hacen bien las cosas los vecinos de Juraguá no tienen motivos para preocuparse. En Loviisa hay una seguridad operativa muy buena, un acabado excelente...; todo está pulidito.

Estos principios tienen que ser una cuestión importante para todo el que construye una CEN, hacer un esfuerzo y mantener el rigor de Finlandia en Loviisa. Un compromiso del gobierno, de reconocer que eso es importante; un compromiso de un superintendente, y de ahí hacia abajo hasta el último soldador. La cultura de seguridad: que todo el mundo considere que es importante que la puerta cierre bien, que el cable esté bien trazado, cumplir bien lo que dice el plano..., todo es importante.

Y yo he visto eso en Cuba en otras instalaciones de avanzada. He visitado el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, el hospital "Hermanos Ameijeiras"..., y allí se ven las cosas limpias, ordenadas, con una tecnología de primera.

Entonces es posible, y no se trata de un problema de los países en vías de desarrollo, ni de complejo de subdesarrollados. Los ferrocarriles de Argentina en estos momentos son un desastre; no porque nosotros seamos menos que otras naciones. El problema es que se reparan los puentes cada dos años, y cuando uno va y los ve llenos de óxido se da cuenta de la causa: la administración no los ha pintado.

Y en el caso de Cuba, la CEN de Juraguá tiene todo lo necesario para ser tan segura como la CEN de Loviisa.

El diálogo fluye animadamente, Abel González no pierde su envidiable jovialidad, ni siquiera cuando viene a colación la denuncia formulada por los ecologistas: "Chernobil es una catástrofe minimizada por el lobby nuclear".

Es cierto que gente vinculada con la industria y con la promoción de la

energía nuclear trata de minimizar el fenómeno. Pero también es cierto que la catástrofe de Chernobil no tuvo la magnitud que ellos dicen.

Ha sido una catástrofe, no hay que simplificar ese hecho. Un grupo de irresponsables le han causado un tremendo daño al mundo. Y es además una irresponsabilidad absoluta que esos mismos negligentes mantuvieran ocultas las consecuencias hasta que inconcebiblemente un país vecino las detectó y las denunció.

Por ahí empieza la falta de credibilidad, ¿cómo puede ser que el mundo se entere así del peligro de una nube radiactiva? Después, durante cinco años, nada menos que un quinquenio, el mundo no tuvo ni la menor idea de cuál fue la trepanación producida por Chernobil.

Entonces es lógico que exista una crisis de credibilidad. Si no me dijeron la verdad en cinco años, ¿por qué yo voy a creer lo que me dicen ahora?

Pero la verdad técnica, afortunadamente, es que la catástrofe de Chernobil ha producido efectos muy limitados. Y si hay algún riesgo en esa población -lo hemos estudiado seriamente con modelos teóricos- va a ser indetectable desde el punto de vista clínico o epidemiológico. Las consecuencias sanitarias por fortuna se han limitado a los trabajadores que lamentablemente estaban laborando durante el accidente.

Y ni siquiera a esos se les conoce muy bien, porque por motivos burocráticos no se puede precisar quiénes fueron. Se sabe, sin duda, que 29 murieron en un plazo relativamente corto, y que centenares fueron sobrepuestos. En el público puede haber casos aislados, pero la gran mayoría ha recibido o va a recibir dosis que en muchos casos son menores que las radiaciones naturales que se reciben en diversas partes del mundo.

Lo que ocurrió fue que la URSS no informó a la comunidad internacional del impacto radiológico, y cuando comenzó el proceso de glasnot y la perestroika eso produjo problemas internos. La gente en la zona sospechaba que algo había ocurrido

por las medidas que se estaban tomando; se evacuó a gente que no debía ser evacuada..., y en esto siempre hay oportunistas que sacan provecho, aumentando la tensión del público. En este proceso, a las autoridades el control se les escapó de las manos. Nadie les cree nada.

Van los expertos -la Unión Soviética los tenía muy buenos- a esos pueblos a explicarles a la gente que no se tienen que preocupar, y los sacan a tomatazos, a huevazos; no les creen aunque digan que la luna es redonda.

Entonces cuando el gobierno soviético ve que no puede con la situación pide ayuda internacional. Claro, fue cinco años después. Habría sido más fácil inmediatamente.

Y así se organiza uno de los proyectos más grandes del sistema de las Naciones Unidas, el Proyecto Internacional de Chernobil, plan conjunto de varias organizaciones internacionales: el Organismo Internacional de Energía Atómica, la Organización Mundial de la Salud, la Organización Internacional del Trabajo, la de Meteorología, la de la Alimentación y la Agricultura..., y después se suma también la Comunidad Económica Europea.

Todos juntos armamos este proyecto y le pedimos a un comité independiente de 19 notables -presidido por el doctor Itsuzo Shigematzu, presidente de la Fundación Hiroshima- que fiscalizara y preparara las conclusiones. Trabajaron bajo la supervisión y dirección de este comité alrededor de 100 expertos de primera línea, y 150 misiones al lugar hicieron mediciones de las gentes, tomaron muestras de todo tipo e hicieron sus estudios.

Participaron los principales científicos del mundo, y de manera muy generosa, porque todos trabajaron gratis, en condiciones a veces penosas.

Y llegado este tema quiero referirme a otro ejemplo de gran generosidad

acerca del cual he hablado mucho: el de Tarára. Traer niños enfermos a un lugar donde pueden respirar aire puro, tomar sol y bañarse en el mar es algo generoso.

Deseo destacar que las conclusiones de los especialistas del Ministerio de Salud Pública y de la Secretaría Ejecutiva para Asuntos Nucleares de Cuba, luego de atender a los niños de Chernobil, coinciden absolutamente con las del Proyecto Internacional.

Ellos han detectado que esos niños afortunadamente recibieron dosis muy bajas; también han comprobado que la situación sanitaria en el área de procedencia es muy mala, y que en general presentan serios problemas alimentarios; una dieta muy mal balanceada. La mayoría de los pacientes presenta serios problemas estomatológicos, y sin embargo las caries dentales nada tienen que ver con las radiaciones.

"El sistema nacional de protección radiológica de Cuba ha alcanzado un nivel importante, y creo que puede hacer mucho para ayudar a otros países del Caribe y de América Central."

Y en este sentido creo que se han beneficiado de alguna forma gracias al accidente, porque si no hubiera ocurrido, nadie habría detectado tantos problemas. Pero gracias a los análisis médicos nos hemos enterado de que había una población con condiciones sanitarias malas, y un país como Cuba, generosamente, la ha ayudado con sus instalaciones y sus especialistas.

Debemos estar muy agradecidos a Cuba por varios motivos: porque ha brindado ayuda médica, que en algunos casos ha resultado muy positiva; y ha permitido que estos chicos, tan afectados desde el punto de vista psicológico, pudieran venir a disfrutar de las playas, encontrarse con el sol, mirar el verde de la vegetación.

Ahora el rostro de Abel González inicia una rápida transición desde la seriedad hacia la sonrisa, y en su hablar de acento porteño se aprecia un tono más íntimo cuando



"Para vender, la prensa amplifica los incidentes nucleares", afirmó Abel González.

introduce un nuevo tema en la conversación.

Yo siento orgullo personal por la solidez del sistema nacional cubano de protección radiológica; estoy vinculado a él desde su comienzo. Esta es mi segunda visita a Cuba.

Conozco a la gente que ha hecho todo esto, sé el esfuerzo que han realizado. Desde el OIEA he tenido posibilidad de ayudarlos y ahora comienzo a ver los frutos.

El sistema nacional de protección radiológica de Cuba ha alcanzado un nivel importante, sus expertos son muy buenos, muy calificados; yo me atrevería a decir que en la región es uno de los más sólidos, y creo que puede hacer mucho para ayudar a otros países del Caribe y de América Central.

Establecimos de común acuerdo con los expertos cubanos una estrategia para fortalecer la protección radiológica y hemos avanzado por el camino acordado dentro de esa estrategia, despacio pero con pasos firmes. Hay detalles que se pueden mejorar, y de eso hemos conversado

durante esta visita. Pero los resultados son satisfactorios.

Ahora es el momento de hacer lo mismo con otro tema, el de la seguridad nuclear. Cuba ha realizado mucho también aquí para preparar a sus especialistas, pero tiene que seguir avanzando; y nos proponemos hacer lo mismo que en la protección radiológica,

avanzar con una estrategia encaminada a los especialistas, con un sistema de trabajo, con los proyectos, orientándonos hacia el futuro.

¿Cómo ve Abel González el futuro mediato e inmediato del uso pacífico de la energía nuclear?

Veo un futuro promisorio, si el mundo comprende que hay una preocupación valedera en el tema de la seguridad. La población mundial reclama una armonía internacional en este asunto. Un vehículo eficaz para satisfacer esa expectativa; un régimen, una convención internacional.

Si tenemos éxito en este esfuerzo que realiza el OIEA, y además el mundo comprende que no puede seguir quemando combustibles fósiles y tirando los residuos al medio ambiente como lo está haciendo; si hay cambios en cuanto a las políticas, en cuanto a las técnicas..., si todo esto pasa, yo le veo un futuro absolutamente promisorio.

Si esto no ocurre va a seguir el estancamiento. Y cuanto más dure ese estancamiento, mayor va a ser la cuota que van a tener que pagar nuestros hijos. Así que tenemos que hacer el

mayor esfuerzo posible para que ese tiempo sea el más corto.

Muy ligado a todo esto está el presente y el futuro del Organismo Internacional de Energía Atómica. Yo creo que el Organismo tiene que redefinir con claridad sus funciones. Están bien claras en el Estatuto del OIEA, pero quizás no claramente enfatizadas como deberían estar.

El OIEA tiene entre sus funciones las de salvaguardia, es decir, crear un sistema técnico que evite desviar las actividades nucleares con fines pacíficos. Y creo que la experiencia de Iraq ha dado una lección para que el Organismo ajuste sus mecanismos, los utilice, genere nuevas ideas.

La otra función importante del OIEA, la protección y la seguridad, depende del convencimiento de los estados miembros. Si no quieren que el Organismo la ejerce, no se convencer de ello, entonces el OIEA tendrá un futuro limitado.

La tercera función importante es la transferencia de tecnología, que va a depender en un futuro de la voluntad de los estados para que se concrete.

Yo creo que este tema en este momento no es tan importante como los otros dos. Este asunto ha madurado mucho, ya no estamos en la época de 1957, cuando se creó el Organismo, cuando la transferencia de tecnología era importantísima porque no se sabía nada, porque la tecnología nuclear estaba concentrada fundamentalmente en uno o dos países.

Ha habido una gran dispersión de la tecnología, está muy extendida, así que ya no es tan importante...

Pero sigue siendo fundamental para los países en vías de desarrollo, carentes de recursos y de finanzas, que necesitan esa colaboración y asistencia técnica.

Sí, efectivamente, para eso creo que tiene que seguir existiendo. Lo importante es que esos países del Tercer Mundo comprendan que la cooperación técnica no se debe entender como una dádiva, como los

espejitos de colores que Cristóbal Colón trajo a los indios.

Cooperación técnica no es pedir un arado, sino conseguir la transferencia de tecnología para aprender a arar. Y esto lamentablemente muchos países en desarrollo no lo entienden bien. Porque no son los estados, son las personas, para quienes a veces la cooperación técnica se resume en pedir un automóvil.

Los países en desarrollo tienen que aprender que un proyecto de cooperación técnica no termina cuando se transfiere el equipo. Concluye cuando el país sabe hacer lo que ese proyecto prevé que se debe alcanzar. Y para esto, como solemos decir en Argentina, para bailar un tango hacen falta dos: la voluntad del donante y la del receptor, que al final debe aprender a hacer algo.

En este tercer tema también veo un futuro promisorio, pero en esto la actitud de los países del Tercer Mundo es decisiva.

La sonrisa vuelve a predominar en el rostro del Director Adjunto de la División de Seguridad Nuclear del OIEA, cuyas palabras evidencian ahora admiración y solidaridad.

Estoy muy impresionado por los avances que han logrado los cubanos en muchas áreas en las más difíciles condiciones en que han transcurrido estos años.

Sería hipócrita de mi parte no decir que yo detecto que las condiciones de trabajo han empeorado. Hay falta de elementos esenciales, las comunicaciones pasan por un momento muy difícil; todo esto hace que un trabajo tan especializado como este sea muy complicado de realizar.

Mas, dentro de esas condiciones, hay avances en muchas áreas; francamente no me doy cuenta de cómo lo han podido hacer. Me imagino que sobre la base de un esfuerzo individual y colectivo espectacular.

En mi caso, el hecho de haber empezado desde muy abajo me permitió transitar por casi todas las actividades, y sé el esfuerzo que representa crear aun en condiciones normales.

Y cuando veo, por ejemplo, el contador de contaminación en humanos con el cual midieron a miles y miles de chicos; yo que hice un contador humano en Argentina también, y que pasé mil dificultades disponiendo de todos los elementos, me imagino lo difícil que habrá sido para este colectivo, carente de recursos; lo complicado del transporte, el racionamiento de la gasolina. Todo esto hace mayores las dificultades, y que merezcan un aplauso mayor por su esfuerzo.

Eso es una ventaja enorme, porque cuando las cosas mejoren -y sin duda

van a mejorar porque en algún momento rebasarán este período- la gente va a estar bien fogueada.

En mi país cuando empezamos, aunque las condiciones no eran tan severas, tampoco eran tan favorables como ahora. Yo tenía que ir a trabajar a caballo cuando llovía. Hicimos muchas cosas con las manos, y todos le tomamos un cariño tremendo a aquello.

Y yo ahora veo a los nuevos especialistas de mi país, que van en los ómnibus con aire acondicionado y que protestan; y tienen una bien surtida cafetería, mientras nosotros teníamos que llevar algo de comer y sentarnos bajo los árboles porque no había lo más mínimo. Y ahora uno compara, y comprende que no podrán sentir el amor que les tiene uno a todas aquellas cosas.

Así que de alguna manera, el esfuerzo inicial de los cubanos va a ser un beneficio espectacular. Van a querer mucho más lo que hicieron. Por eso les recomendé a los especialistas de la SEAN en Tarará que aun cuando tengan otro contador más moderno y de mejor factura mantengan como algo muy valioso para otro tipo de tareas este contador que siempre va a funcionar, porque si lo hicieron trabajar en condiciones tan difíciles, solo dejará de hacerlo si lo destruye un terremoto o algo sobrenatural.

Lo que usted quiere saber **nucleus** se lo brinda

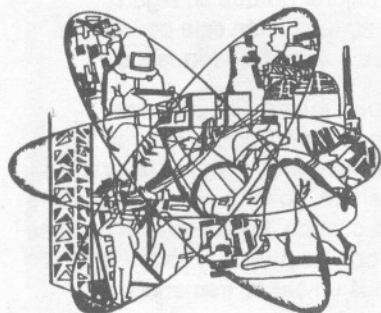
- Los resultados más significativos de Cuba en el estudio y aplicación de la energía nuclear.
- Los últimos logros de las ciencias y tecnologías nucleares en el mundo.
- Comentarios y reseñas acerca de personalidades y hechos relevantes.
- Noticias de actualidad nacional e internacional.

Aceptamos:

- la promoción de su actividad
- artículos para publicar
- cualquier sugerencia u opinión sobre nuestra revista.

Solicite más información en el Centro de Información de la Energía Nuclear. Calle 20 No. 4113, esq. 47, Playa, La Habana.





APLICACION DEL ANALISIS NUCLEAR EN LA INDUSTRIA NACIONAL

Por: Darío Gandarías Cruz
y María Elena Montero Cabrera

El análisis nuclear es una poderosa herramienta de trabajo que aplicada correctamente a la industria nacional puede ayudar a resolver algunos de sus problemas más apremiantes. Investigadores y profesores del Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares (ISCTN) de Cuba comenzaron a aplicar en 1986 algunas de estas técnicas analíticas, lo que constituyó el embrión del actual grupo de análisis nuclear de dicho Instituto.

Este grupo aborda diferentes problemas de interés nacional en colaboración con los ministerios del Azúcar, la Industria Básica, Salud Pública y Educación Superior, así como con la Academia de Ciencias de Cuba y la Secretaría Ejecutiva para Asuntos Nucleares.

En su trabajo estos especialistas aplican el análisis por activación neutrónica, la fluorescencia de rayos X dispersiva en energía, la reflexión de neutrones, el análisis de bajas actividades gamma y radiactividad natural, la modelación matemática de procesos de interacción de los neutrones y los rayos gamma con los materiales, la cromatografía líquida de alta resolución y el análisis químico.



Las rocas del subsuelo tienen propiedades nucleares; por ejemplo,

ellas contienen elementos o isótopos radiactivos naturales como el uranio, el torio, el potasio, el vanadio, etc., o poseen altas secciones eficaces de absorción de neutrones, de activación con neutrones o de absorción de rayos gamma.

El correcto aprovechamiento de estas propiedades nucleares aporta grandes ventajas a la industria del petróleo, ya que ellas permiten:

- Descubrir las características químicas y físicas de las rocas del subsuelo.
- El mapeo geológico a fin de establecer comparaciones litológicas.
- Esclarecer el origen de las rocas y del petróleo contenido en ellas.
- Emplear sondas nucleares durante y después de la perforación de los pozos petrolíferos.
- Determinar en el pozo la zona con buenas características para extraer de allí el petróleo.
- Conocer los yacimientos y predecir las zonas de extracción de petróleo en los pozos.

Por tal motivo el grupo de aplicaciones en la industria del petróleo del ISCTN ha centrado su interés en el análisis nuclear de las rocas del subsuelo. Para ello ha desplegado cuatro tareas fundamentales, comprendidas en un protocolo de colaboración entre el Instituto y el Centro de Investigaciones y Desarrollo del Petróleo de la Unión del Petróleo y el Combustible del Ministerio de la Industria Básica.

Estas tareas son:

- Análisis de la radiactividad natural de las rocas de los diferentes estratos de los yacimientos petrolíferos.

- Estudio de la composición elemental de las rocas.

- Diseño de una metodología para determinar el petróleo residual en las rocas.

- Obtención mediante la modelación físico-matemática de las curvas para interpretar los registros de las sondas nucleares en rocas vulcanógeno-sedimentarias.

Estudio multielemental. El análisis de la composición elemental de las rocas contribuye a conocer mejor los yacimientos, a localizar elementos que puedan afectar el sondeo nuclear y a buscar microindicadores de la presencia de petróleo en las capas de litología adecuada.

Tradicionalmente la composición elemental de las rocas se ha estudiado por métodos espectrales de análisis, incapaces de reconocer la presencia de tierras raras, por lo que la aplicación de métodos sensibles -como el análisis por activación neutrónica, la fluorescencia de rayos X dispersiva en energía, el análisis por espectroscopía gamma y la reflexión de neutrones- aporta un conocimiento más preciso y concluyente de la composición elemental de las rocas de diferentes edades geológicas del subsuelo del país.

En 1988 se realizaron las primeras irradiaciones de muestras cubanas para el análisis por activación neutrónica. Estas irradiaciones permitieron obtener la composición elemental de rocas extraídas de pozos de petróleo y verificar la posibilidad de efectuar el análisis por activación neutrónica relativo con una muestra de suelo de contenido certificado internacionalmente.

Con posterioridad, el Grupo profundizó el análisis de las rocas extraídas de pozos petrolíferos y sistematizó los procedimientos y la selección de muestras de acuerdo con el yacimiento, la edad de las rocas, la profundidad y demás características.

Estos estudios permitieron caracterizar pozos petrolíferos de yacimientos localizados en diferentes regiones del país, lo cual contribuye a modelar la interpretación de los registros de sondeos neutrónicos con mayor precisión.

Otra de las investigaciones relacionadas con la industria del petróleo ha sido el establecimiento de un método para determinar el petróleo residual, por su importancia para pronosticar las reservas de un yacimiento.

Los trabajos investigativos del Grupo han girado alrededor de las posibilidades que brinda la reflexión de neutrones para determinar el petróleo residual. Los estudios permitieron comprobar que esta técnica es más productiva, ya que acorta el ciclo de análisis de 45 días a uno como máximo.

Las investigaciones han generado un gran cúmulo de datos que aparecen recogidos en publicaciones técnicas. Además, los resultados se han presentado en conferencias y simposios nacionales e internacionales.



Desde 1988 el ISCTN viene colaborando con el Instituto Cubano de la Industria Azucarera del Ministerio del Azúcar para resolver algunos problemas de nuestra primera industria nacional. Los trabajos se han orientado al análisis de los diferentes tipos de azúcar; a estudiar la composición elemental de la hoja de caña y suelos cañeros y a determinar la humedad del bagazo.

Análisis de los tipos de azúcar. Cuba produce tres tipos de azúcar: crudo, refino y blanco-directo. Por ser un producto alimentario, es importante conocer con precisión la composición elemental de los tres tipos de azúcar y compararlos entre sí, sobre todo de aquellos elementos que no se pueden determinar por un análisis de control industrial.

El análisis por activación con neutrones térmicos aplicado a muestras de diferentes refinerías y centrales, que representan el 30% de los centros azucareros del país permitió determinar 14 elementos, en un intervalo entre 0,01 y 100 partes por millón, así como su procedencia; diferenciar los tres tipos de azúcar; y llegar a la conclusión de que estos azúcares son ecológicamente sanos.

La hoja de la caña y los suelos cañeros. Especial atención han recibido en los últimos años las investigaciones sobre las propiedades nutritivas de la hoja de la caña, dado que su principal uso se ha dirigido hacia la alimentación animal. Además, en cada zafra se acumulan grandes cantidades de paja de caña, lo cual ha motivado el interés por estudiar su composición multielemental a fin de evaluar sus posibilidades como materia prima para otros usos.

El objetivo principal de los trabajos sobre la paja de caña y suelos de las plantaciones cañeras fue conocer la influencia de aquellos microelementos presentes en los suelos que la planta absorbe en su proceso de nutrición.

El análisis por activación neutrónica y la fluorescencia de rayos X han proporcionado datos valiosos sobre la

concentración de elementos minoritarios y trazas en muestras de hojas de caña y suelos. La aplicación del análisis nuclear permitió comprobar además que la caña de azúcar es capaz de concentrar en sí algunos elementos como el bromo, el cobre, el rubidio y el estroncio, independientemente del tipo de suelo y la variedad de caña.

Líneas de investigación que desarrolla el grupo de análisis nuclear del ISCTN

- **Prospección y explotación de yacimientos petrolíferos.**
- **Agroindustria azucarera.**
- **Zeolitas.**
- **Productos de la industria médico-farmacéutica.**
- **Muestras biológicas marinas.**
- **Compuestos puros cubanos.**
- **Contaminación ambiental.**
- **Sedimentos marinos.**

Determinación de humedad en el bagazo. En los últimos años se ha extendido la utilización del método de reflexión de neutrones en algunos países, para medir el contenido de humedad en diferentes materiales, como el suelo, o para determinar la concentración de algunos elementos ligeros como el hidrógeno en petróleo y el cloro en polietileno.

En Cuba, cada día crece el número de centrales azucareros que utilizan el bagazo de caña como combustible. Además, existen fábricas de tableros para muebles a partir de este derivado de la caña. A estas industrias les interesa conocer el índice de humedad del bagazo a la entrada y la salida del

sistema de presecado, para disminuir los gastos en petróleo en el primer caso y para facilitar las labores de prensado en el segundo.

En la actualidad este trabajo se realiza por gravimetría, que es bastante lento y afecta la evaluación de la eficiencia del sistema de presecado.

Especialistas e investigadores del ISCTN estudiaron, en una instalación sencilla de laboratorio, la posibilidad de aplicar la reflexión de neutrones para estos fines. Los resultados muestran que este método es factible para determinar el contenido de humedad del bagazo de caña de azúcar, en un intervalo de 0-50% y con una exactitud relativa del 2-3% en condiciones de laboratorio, lo que unido a su rápida respuesta en comparación con la gravimetría (20 minutos contra alrededor de 7 horas para cada muestra) lo convierten en un método eficaz y de posible introducción tanto en la industria azucarera, como en la de derivados de la caña.



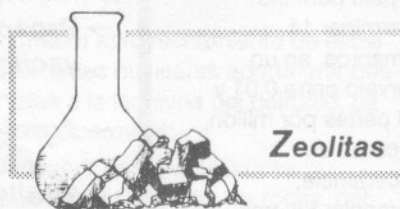
Los sedimentos marinos constituyen una fuente importante de datos, ya que estos brindan información no solo de la dinámica de los procesos geoquímicos del ecosistema marino, sino también de los cambios ecológicos que pueden ocurrir en el medio. Por ello se le ha dedicado especial atención en los últimos años a investigar la composición elemental del ambiente marino en sus diversas fases.

En 1989 el ISCTN comenzó el estudio de la composición multielemental de

los sedimentos marinos del golfo de Ana María, al sur de Camagüey, lugar de gran importancia económica por sus recursos pesqueros. La investigación consistió en la caracterización multielemental con ayuda de las técnicas nucleares de muestras de sedimentos de seis estaciones de control de dicho golfo.

Mediante el análisis por activación con neutrones térmicos se determinaron 18 elementos y se realizaron comparaciones con otras zonas costeras anteriormente estudiadas.

Los resultados de este trabajo constituyen un aporte valioso a la solución de varios problemas tanto de carácter científico como económico.



Las zeolitas naturales se utilizan de forma creciente en un gran número de países debido a sus diversas aplicaciones: material de construcción, complemento dietético para cerdos y aves de corral, purificación de aguas residuales, secado, purificación y absorción de gases, construcción de máquinas de refrigeración, deshidratación, sorbente de sustancias radiactivas, entre otros.

Cuba posee grandes reservas de zeolitas naturales, que unido a sus probados beneficios ha motivado que se emplee cada vez más en sectores de interés como la industria médico-farmacéutica, la industria azucarera y la agricultura. Por este motivo diferentes investigadores del país vienen realizando estudios que permitan caracterizar este mineral de la forma más general posible. En 1987 un grupo de físicos nucleares del ISCTN

comenzó a aplicar el análisis por activación neutrónica y la reflexión de neutrones por las ventajas que muestran ambos métodos.

El análisis por activación de neutrones térmicos permitió determinar las concentraciones de 29 elementos en muestras de rocas zeolíticas provenientes de cuatro yacimientos: El Piojillo (Villa Clara), Palmarito (Santiago de Cuba), Tasajera y San Andrés (Holguín). Mediante el análisis por activación con neutrones rápidos se determinó el contenido de silicio, aluminio y hierro en dos muestras de los yacimientos Palmarito y Orozco (Pinar del Río). Estos estudios contribuyen a un mejor aprovechamiento y explotación de esta roca.

Se realizaron también investigaciones para determinar el contenido de agua por reflexión de neutrones. Los resultados indican que es posible distinguir un mineral rico en zeolita de los otros minerales que lo rodean.

Conclusiones

Las técnicas de análisis nuclear contribuyen de forma significativa a un conocimiento científico más profundo de nuestro subsuelo, nuestros productos principales y nuestra ecología. Además, ayudan directamente al mejor aprovechamiento de nuestros recursos, tal como resulta en la prospección petrolera y la industria azucarera.

Tanto los resultados de las investigaciones realizadas como las perspectivas en esferas tan importantes como la industria médico-farmacéutica y la medicina demuestran cuan valiosas son estas técnicas analíticas.

A medio siglo del reactor de Fermi

Por: Grisel Acosta Acosta

Han transcurrido 50 años desde que el hombre logró por primera vez una reacción nuclear en cadena controlada y autosostenida. El 2 de diciembre de 1942 en la Universidad de Chicago, un grupo de especialistas de diferentes nacionalidades, encabezados por el italiano Enrico Fermi, consiguieron que el primer reactor nuclear de la historia -el Chicago Pile (CP-1)- alcanzara la criticidad y funcionara durante 28 minutos. Después que se detuvo la reacción, Arthur H. Compton, quien ocupaba el cargo de jefe del departamento de física de esta Universidad y que también presencié el experimento, telefoneó a James B. Conant, presidente de Harvard y jefe del Comité Nacional de Investigaciones para la Defensa de los EE.UU., para darle las buenas noticias. La frase con que Compton describió este hecho ha llegado hasta nosotros: "El navegante italiano ha desembarcado en el Nuevo Mundo".

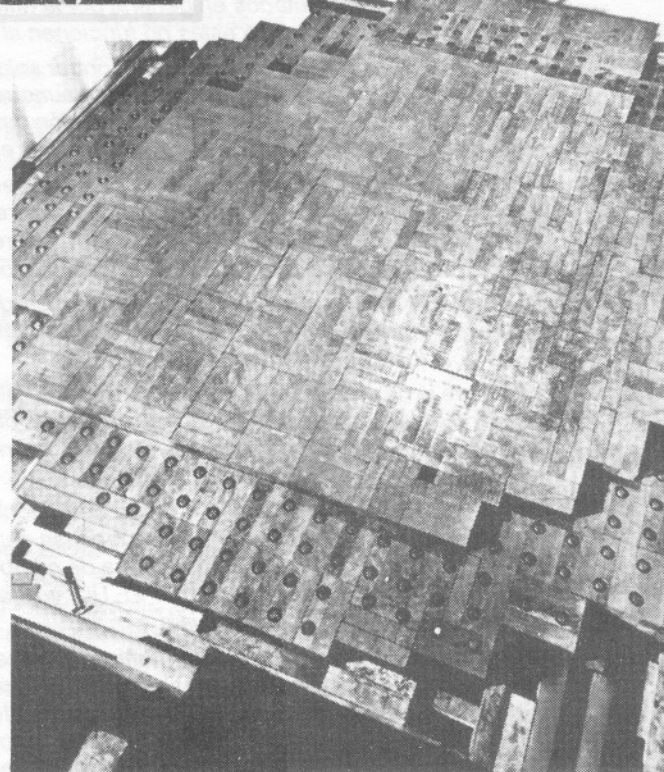
En realidad un nuevo mundo se abrió ante el hombre, al demostrarse en la práctica las posibilidades del empleo de la energía nuclear. Hoy son muchos los logros en esta esfera, los cuales han contribuido grandemente al progreso de la humanidad y abarcan desde la producción de energía eléctrica hasta las más diversas aplicaciones en la agricultura, la medicina y la industria.

En la actualidad operan en casi 30 países alrededor de 420 reactores nucleoeenergéticos con una capacidad total de más de 326 GWe, y que aportan el 17% de la electricidad mundial. Además, la aplicación de las técnicas nucleares en diferentes sectores de la economía ha permitido obtener numerosas variedades mejoradas de cultivos, así como importantes avances en el tratamiento y diagnóstico de muchas enfermedades; ha contribuido a erradicar plagas y a optimizar los procesos industriales.

Sin embargo, no podemos estar satisfechos con estos resultados, ya que incluso los países más desarrollados podían haber aprovechado mejor las posibilidades que brinda esta fuente de energía, sin hablar de las promesas hechas a los países en desarrollo, que esperaban recibir la ayuda necesaria para poder elevar el nivel de vida de su población.

El panorama actual se comporta de manera desigual para las diferentes regiones geográficas y los países en específico. Europa, luego de muchos años de expansión de la nucleoeenergética, ha llegado a una etapa de estabilización. La energía nuclear suministra el 30% de la electricidad total de esta área, por encima del aporte que realizan otras fuentes como el carbón, el petróleo o la energía hidráulica. Sin embargo, son notables las diferencias por países. Estas abarcan un amplio espectro que va desde Francia, que ocupa el primer lugar con 56 reactores en operación que generan el 73% de su electricidad hasta Italia, que renunció a la opción nuclear, al cerrar sus dos últimos reactores en operación en 1990. Además, están España, Suecia, Suiza, Holanda y Finlandia, que han resuelto mediante referéndum o decisiones de los gobiernos o parlamentos, moratorias sobre la construcción de nuevas centrales electronucleares (CEN) o el cierre de las existentes en un plazo determinado. El interés principal de las naciones europeas se concentra ahora en mantener la operación segura y confiable de las CEN en operación, en la extensión de su vida útil, cuando sea posible, y en el diseño y desarrollo de los futuros reactores, con seguridad elevada.

Los países de Europa oriental se debaten entre la necesidad de mantener sus centrales nucleares en operación e incluso elevar sus capacidades nucleoeeléctricas instaladas (para satisfacer la grave situación energética que atraviesan) y la fuerte oposición de la opinión pública a estas, motivada fundamentalmente por el accidente de Chernobí. La aguda crisis política que enfrenta la mayor parte de ellos, unida a la carencia de recursos financieros, imposibilita prácticamente continuar cualquier proyecto nuclear. Además, se han visto obligados a dedicar sus esfuerzos a perfeccionar la seguridad de las instalaciones existentes, que han sido muy criticadas por la comunidad internacional. La esperada ayuda prometida por Occidente para los programas de mejoramiento de los reactores de la antigua URSS y demás países de esta región, aún está por llegar.



Enrico Fermi y el Chicago Pile (CP-1). (Foto tomada del Boletín OIEA, 4/1992.)

En el sudeste asiático y el Pacífico están los países que actualmente poseen los mayores programas a largo plazo (en ejecución) para elevar sus capacidades nucleoelectricas. Entre ellos se destaca Japón que ya opera 43 reactores nucleares, Corea del Sur, donde la energía nuclear aporta casi el 50% de la electricidad total, y Taiwan con un 38%. Además, está China que fue capaz de poner en funcionamiento a fines de 1991 su primera central nuclear con un diseño nacional y continúa la construcción de otras para satisfacer sus necesidades de energía.

En Estados Unidos, con el mayor número de reactores nucleares en el mundo (110), se vislumbra una situación favorable para la energía nuclear luego de la aprobación de la Ley de Energía, que prevé, entre otros asuntos, reformas que facilitan el proceso de licenciamiento (uno de los aspectos más conflictivos para las centrales nucleares del país) y el financiamiento para continuar el desarrollo de diseños de reactores avanzados.

Del total de 420 reactores nucleares existentes en el mundo, solo 31 están ubicados en ocho países en desarrollo, paradójicamente los más necesitados en satisfacer sus crecientes necesidades energéticas. Los proyectos nucleares en estos países están afectados en general por la difícil situación económica que atraviesan, lo cual retrasa la conclusión de las instalaciones y provoca que estas no funcionen al máximo de su capacidad después de terminadas.

El hombre se enfrenta hoy al reto de encontrar soluciones para satisfacer sus actuales necesidades de energía, sin continuar dañando el medio ambiente. Sin embargo, aunque ya se reconoce ampliamente que la energía nuclear puede contribuir de forma significativa a disminuir la contaminación ambiental por la emisión de gases que producen el efecto invernadero en las centrales térmicas, las decisiones políticas de los estados no estimulan de la mejor manera el empleo de esta fuente energética.

El XV Congreso del Consejo Mundial de Energía, celebrado en septiembre último, señaló que el desarrollo de la energía nuclear en condiciones de seguridad, era una de las tres alternativas fundamentales para conseguir los suministros de energía sostenibles. Además, agregó que no se puede prescindir de ninguna de las fuentes de energía que existen hoy, ya que las fuentes renovables no son capaces de sustituir, todavía, a los combustibles fósiles o la energía nuclear.

Un obstáculo real para que los países menos desarrollados se beneficien con la utilización de la energía nuclear es la amenaza de proliferación nuclear, que limita la transferencia de tecnología desde los estados fabricantes y exportadores de esta, hacia los que no la poseen.

El tema de la no proliferación y salvaguardias se trató ampliamente en los dos últimos años y llevó a que los países exportadores de tecnología nuclear refuerzan los controles para estas transferencias y a que cada vez sean más las exigencias de perfeccionar el sistema de salvaguardias del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), con vistas a evitar programas nucleares clandestinos con fines militares.

Esta situación se agrava con el exceso de plutonio acumulado en el combustible agotado de las centrales nucleares, que puede llegar a 70-120 t en el año 2000, a causa del desbalance entre las cantidades obtenidas por reprocesamiento y las que se pueden usar en los reactores en forma de combustible de óxidos mixtos (MOX). Además, con motivo del desmantelamiento de las ojivas nucleares, previsto por EE.UU. y Rusia, se estima que se añadirán unas 100 t de plutonio y 500 t de uranio de alto enriquecimiento en cada país.

A continuación brindamos una panorámica del desarrollo nuclear durante 1992, señalando los acontecimientos más relevantes de cada país y sus repercusiones para los programas nucleares de estos y para el mundo en general. En esta se puede observar hasta donde ha llegado cada uno de ellos en la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos, medio siglo después de que el hombre lograra la primera reacción nuclear en cadena controlada. Por ahora las diferencias son abismales. ¿Qué ocurrirá en los próximos 50 años? La humanidad necesita un cambio radical.

Alemania

La compañía conjunta de Alemania y Francia -Nuclear Power International- elabora el diseño de un reactor de agua ligera a presión (PWR), que puede ser el nuevo reactor normalizado europeo del próximo siglo.

El programa estimula la construcción paralela de las primeras unidades de este tipo en ambos países para 1998. En Alemania el emplazamiento más probable es cerca del proyecto abandonado de la CEN Stendal.

Argelia

En febrero del 92 el país firmó un acuerdo de salvaguardias con el OIEA que prevé la inspección del reactor de

investigaciones suministrado por China. Se trata de El-Salam, un reactor de agua pesada de 15 MWt ubicado en Ain Oussera que se debería concluir para fines de año. Argelia expresó su disposición a firmar el Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares (TNP).

Argentina

En cumplimiento del acuerdo de salvaguardias firmado en diciembre del 91 entre Argentina, Brasil, la Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares y el OIEA, el presidente argentino Carlos Menem firmó un decreto el 27 de abril que regula la exportación de materiales destinados a fabricar armas de destrucción masiva. El decreto exige

una licencia previa para exportar reactores y uranio enriquecido; plantas, equipos y componentes para la conversión y enriquecimiento de uranio, así como para el reprocesamiento y fabricación de combustible y la producción de agua pesada.

Entre los materiales están el uranio natural y empobrecido, torio, uranio enriquecido, plutonio, grafito de grado nuclear, deuterio y agua pesada e isótopos radiactivos.

Este acto forma parte de la nueva política nuclear emprendida por Menem para tener acceso a tecnología y financiamiento de países industrializados. Todo está motivado por la crisis que atraviesa la nación, y

que ha obligado al gobierno a decidir la privatización de su industria nuclear.

A mediados de año se anunció que se analizaba la posibilidad de conceder la operación de las dos centrales nucleares (Atucha 1 y Embalse) y la producción a gran escala de radisótopos, entre otras actividades.

El proyecto -parte de un intenso y ambicioso programa de privatización del gobierno de Ménem para reducir los gastos estatales- está a cargo de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y se esperaba que a fines de 1992 estuviera suscrito el decreto que convertiría a esa entidad en una sociedad anónima con cuatro

subempresas relacionadas con la operación de CEN y venta de energía, la producción de radisótopos, el ciclo del combustible y los servicios de alta tecnología. El plan de concesiones también prevé la construcción de otras centrales nucleares con participación de capital privado. La seguridad nuclear permanecerá en manos del Estado.

En busca de soluciones a su crisis, Argentina también ha ampliado la colaboración nuclear con otros países. Durante el año sostuvo negociaciones con Turquía y Egipto para suministrar a estos países reactores nucleares para producir electricidad y para las investigaciones. Además, firmó

acuerdos de cooperación sobre el uso pacífico de la energía nuclear con Francia y EE.UU.

La CEN de Atucha 1 estuvo operando durante 1992 con una disponibilidad del 76% y aportó casi el 5% de la electricidad del país. A inicios de 1993 el gobierno aprobó un convenio entre la CNEA y un banco alemán por el que se otorga un crédito que permitirá adquirir piezas de repuesto y servicios para mejorar la operación de esta central.

En febrero comenzó la carga de amoníaco en la planta industrial de agua pesada de Arroyito. La instalación, con una capacidad de



XXXVI Conferencia General del OIEA

La XXXVI Conferencia General del OIEA que sesionó en Viena del 21 al 25 de septiembre aprobó importantes resoluciones sobre la seguridad nuclear, las salvaguardias y la cooperación técnica, entre otras.

En su discurso ante la Conferencia, el director general, Dr. Hans Blix, señaló que el OIEA ha demostrado ser capaz de enfrentar los nuevos retos que plantea un mundo en constante cambio. Más adelante exhortó a los gobiernos de los países miembros a examinar esferas concretas, como la seguridad nuclear, donde se deben tratar cuestiones políticas, incluido el alcance apropiado de una convención internacional sobre seguridad que establezca normas de obligatorio cumplimiento para los estados signatarios; otra esfera es la evacuación de desechos radiactivos, en la que existen cuestiones como la posible formulación de normas mínimas internacionales vinculantes. Además, se refirió a la posible función del OIEA en la verificación del uso pacífico o el almacenamiento de los materiales nucleares recuperados del desmantelamiento de las armas; las medidas internacionales para garantizar el uso con fines pacíficos o el almacenamiento de las crecientes existencias de plutonio y, por último, las restricciones sobre la producción de materiales que se puedan usar en la fabricación de armas.

Por recomendación de la Junta de Gobernadores del OIEA la Conferencia General aprobó las solicitudes de admisión presentadas por Croacia, Eslovenia y Uzbekistán como estados miembros del Organismo.

La Conferencia instó a continuar trabajando para establecer una base común sobre la que pueda evaluarse el nivel de seguridad de las centrales nucleares en funcionamiento, a proseguir la elaboración de los principios de seguridad para futuros reactores y de una convención de seguridad nuclear.

En cuanto a las salvaguardias, se pidió a Sudáfrica que siga cooperando con el OIEA en la puesta en práctica del acuerdo de salvaguardias que entró en vigor en septiembre de 1991; se aprobó nuevamente una resolución de condena a Irak por el incumplimiento de sus obligaciones de no proliferación nuclear y se solicitó al Director General que continúe las consultas con los estados del Medio Oriente para facilitar la pronta aplicación de salvaguardias totales del OIEA a todas las actividades nucleares en la región.

También se aprobaron resoluciones sobre la utilización práctica de la irradiación de alimentos en los países en desarrollo y sobre el empleo de la energía nuclear para desalar agua de mar en forma económica. Se pidió al Director General que refuerce las actividades de cooperación técnica para mejorar las capacidades científicas y tecnológicas de los países en desarrollo en la aplicación de la energía nuclear con fines pacíficos.

La Conferencia General consideró que la República Federativa de Yugoslavia (Serbia y Montenegro) no podía ser automáticamente continuadora de la antigua República Federativa Socialista de Yugoslavia como estado miembro del OIEA y decidió que la República Federativa de Yugoslavia (Serbia y Montenegro) debía presentar su solicitud de admisión y que no puede seguir tomando parte en los trabajos de la Junta y de la Conferencia.

Paralelamente a la Conferencia General sesionaron reuniones científicas que trataron la gestión de desechos radiactivos, las aplicaciones nucleares para aumentar la productividad agrícola, el tratamiento del cáncer con la radioterapia y la medicina nuclear, entre otros temas.

producción de 200 t al año, debía haber entrado en funcionamiento antes de finalizar 1992 para garantizar el suministro de agua pesada para la puesta en marcha de Atucha 2, que se prevé dentro de tres años aproximadamente.

Armenia

La aguda crisis de energía que sufre el país ha provocado que la población exija la reapertura de los dos reactores VVER-440 detenidos desde 1989. El gobierno decidió analizar la seguridad de estos reactores con la participación de varias compañías extranjeras. Framatome, de Francia, realizará un estudio técnico que abarcará aspectos como la protección antisísmica y la seguridad de los reactores VVER-440, modelo V-230, y es parte del programa de la Comunidad Europea para la asistencia técnica a los estados de la CEI y Lituania.

Belarús

Funcionarios de la dirección de desarrollo territorial, arquitectura y construcción del Consejo de Ministros de esta nación, informaron que se habían iniciado los trabajos para construir una central nuclear en su territorio. La carencia de recursos energéticos no será suficiente para que la opinión pública, seriamente afectada por el accidente de Chernobil, apoye de inmediato esta propuesta.

Bélgica

El país no prevé en esta década, incrementar la capacidad generadora nuclear, sin embargo -espera aumentar la electricidad de origen nuclear, a través de las importaciones provenientes de los reactores franceses Chooz B1 y B2, que deberán iniciar su operación en 1995 y 1996, respectivamente. La compañía belga operadora de CEN -Electrabel- participa en un 25% en la construcción de estas dos unidades.

En los reactores Doel 3 y Tihange 3 se sustituirán los generadores de vapor durante la

parada prevista para 1993 en Doel 3 y para 1995 en Tihange 3.

Brasil

El 9 de diciembre de 1992 quedó inaugurada oficialmente en Río de Janeiro, la sede de la Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares, prevista en el Acuerdo para el uso exclusivamente pacífico de la energía nuclear firmado por Argentina y Brasil durante la primera reunión de jefes de estado y gobierno de Iberoamérica, en Guadalajara, a mediados de 1991.

El proceso judicial que se llevó a cabo contra el entonces presidente de Brasil, Fernando Collor de Mello, a fines de año, retrasó el reinicio de los trabajos de construcción de Angra 2. Collor estaba dispuesto a concluir la CEN y había apoyado un acuerdo financiero firmado en julio, pero después de su sustitución se necesitaba la aprobación de Itamar Franco, actual presidente brasileño.

Franco realizó algunos cambios en la estructura del programa nuclear nacional al variar las responsabilidades de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), la que continuará trazando la política nuclear, pero perderá el control de las organizaciones que la llevan a cabo. La CNEN seguirá vinculada a la Secretaría de Asuntos Estratégicos, pero las compañías encargadas de la extracción y procesamiento de yellowcake -Nuclep, Industrias Nucleares do Brasil y sus subsidiarias- pasarán bajo el control del Ministerio de Minas y Energía.

Brasil recibió equipamiento de fabricación alemana por valor de 370 millones de dólares para los reactores de Angra 2 y Angra 3. Las obras de infraestructura de la primera unidad están al 95% de ejecución, mientras que no se han iniciado los de la segunda y según informaciones, esta podría cancelarse por su alto costo.

Luego de cinco años de litigio, un tribunal de la Cámara Internacional de Comercio resolvió la disputa entre Furnas Centrais Elétricas -propietario y operador de la CEN brasileña Angra 1- y Westinghouse

-suministrador del reactor-. El tribunal concluyó que no existían pruebas de que Westinghouse mintiera intencionalmente respecto a los generadores de vapor, y que no hubo fraude en el contrato, por lo que Westinghouse no debía pagar a Furnas los 115 millones de dólares que esta pedía por los daños en los generadores de vapor y concedió a la compañía brasileña solo dos millones y medio de un total de 149 millones de dólares que esta había solicitado.

Los dos millones y medio que deberá pagar la empresa norteamericana son por una disputa acerca de la garantía de un generador eléctrico.

Bulgaria

Un año después que un grupo de expertos del OIEA determinó que las cuatro primeras unidades de la CEN de Kozloduy (VVER-440) tenían un estado insatisfactorio y ciertas deficiencias de seguridad, la situación en la central ha mejorado bastante.

Los dos primeros reactores están concluyendo sus paradas de un año, durante las cuales se han ejecutado reparaciones y mejoras para llevarlos a la condición que tenían cuando su puesta en marcha. Al entrar estos nuevamente en operación serán detenidas las unidades 3 y 4 para realizar trabajos similares.

Las unidades Kozloduy 5 y 6 con reactores VVER-1000 continúan funcionando y la última estaba entrando en la operación comercial a fines de año.

A la par de las mejoras de carácter técnico en los reactores, se realizaron cambios para elevar la calidad del personal de operación y en la dirección de la central, que fue uno de los problemas críticos que el OIEA encontró.

Expertos de la WANO (sigla en inglés de la Asociación Mundial de Operadores Nucleares) apoyaron los trabajos y la Comunidad Europea dio parte del financiamiento. Alemania donó piezas de repuesto de los reactores cerrados de Greifswald y hubo intercambio de experiencia con

el personal de la CEN francesa de Bugey.

Según las opiniones de expertos de la WANO, los reactores 1 y 2 tienen un nivel de seguridad que permite su operación hasta 1995. Entonces será necesario haber decidido si se realizan o no programas más extensos para mejorar la seguridad a fin de que puedan seguir funcionando.

Corea del Norte

En correspondencia con la declaración conjunta para la Península Coreana no nuclear firmada por ambas Coreas en diciembre de 1991. Corea Democrática firmó el 30 de enero de 1992 un acuerdo de salvaguardias con el OIEA que permite a este Organismo inspeccionar sus instalaciones nucleares.

El Sur, por su parte, confirmó que no habrá armas nucleares norteamericanas en su territorio. La administración Bush había anunciado el retiro de tales armas y también canceló sus maniobras militares conjuntas Team Spirit correspondientes a 1992.

El 19 de febrero de 1992 entró en vigor la declaración conjunta y un mes más tarde se iniciaron las negociaciones para realizar inspecciones mutuas, destinadas a verificar la desnuclearización de la península. Estas tuvieron problemas desde un inicio porque Corea del Norte exigía que se incluyeran las instalaciones militares estadounidenses en Sudcorea.

En abril el parlamento norcoreano ratificó el acuerdo de salvaguardias con el OIEA y en mayo entregó la lista de sus instalaciones nucleares a este Organismo.

Luego de la visita de Hans Blix al país en mayo y de la primera inspección finalizada en junio, se informó que Corea del Norte poseía las siguientes instalaciones nucleares (además de un reactor de investigaciones tipo IRT y un conjunto crítico en el centro de investigaciones nucleares de Pyongyang, que estaban sometidos a salvaguardias del OIEA):

- un conjunto subcrítico en la Universidad Kim Il Sung;
- un reactor experimental de 5 MWe en operación desde 1986 en Nyongbyon;
- un reactor energético de 50 MWe en Nyongbyon y otro de 200 MWe en la provincia de Pyongan del Norte, ambos en construcción;
- dos minas de uranio con sus plantas de producción de concentrados;
- un laboratorio radioquímico en construcción, ubicado en Nyongbyon, que según Corea del Norte se destina a las investigaciones sobre separación de actínidos y gestión de desechos, y a estudios sobre la utilización del plutonio en reactores rápidos o en combustibles de óxidos mixtos, como otras opciones del ciclo del combustible. Esta es la instalación más criticada del programa nuclear coreano, ya que se conjetura que podría ser una planta de procesamiento a mayor escala. Funcionarios coreanos y del OIEA informaron que se habían separado pequeñas cantidades de plutonio a escala de laboratorio;
- también se informó que se planificaba la construcción de reactores de 635 MWe de agua ligera en Shin Po.

Corea del Sur

La Korea Electrical Power Corp. (Kepco) tiene planes de construir en el país nueve reactores para el año 2001 y otros nueve para el 2006 para lograr un 52% de generación eléctrica de origen nuclear.

Aunque se prevén dos tipos de reactores: agua ligera a presión (PWR) y agua pesada a presión (PHWR), se espera que la mayor parte sean unidades de 1000 MWe de la serie Korean Standard Nuclear desarrollada por los coreanos.

En 1991 Kepco había alcanzado ya un 88% de autosuficiencia en la tecnología de reactores PWR y esperaba elevar esta cifra hasta el 95% en 1995. Además, la compañía pretende desarrollar también la

tecnología de fabricación de reactores PHWR.

Cuba

En septiembre, el presidente de Cuba, Fidel Castro, anunció públicamente que se había decidido paralizar temporalmente las obras de construcción de la primera central electronuclear del país ubicada en Juraguá, provincia de Cienfuegos. Ello estuvo motivado porque Cuba no podía aceptar las nuevas condiciones propuestas por las autoridades rusas -el país suministrador- para continuar la obra. También señaló que si en el futuro las condiciones que obligaron a esta decisión cambiaran, Cuba estaba dispuesta a considerar la reanudación de la obra.

La central posee dos reactores VVER-440 modelo V-318, el primero de los cuales se encuentra a un 90% de ejecución de la construcción civil y con más de un 95% de los objetos auxiliares terminados y algunos en puesta en marcha. Además, se cuenta con el 80% de los suministros para este reactor. En la construcción de la CEN se han invertido ya más de 1100 millones de dólares.

No obstante esta decisión, Cuba no ha renunciado a la opción nuclear para su desarrollo energético, por lo que la central será sometida a una adecuada conservación que permitirá concluir la y ponerla en funcionamiento en cuanto sea posible.

El programa nuclear cubano que prevé además la aplicación de las técnicas nucleares en diferentes ramas de la economía, la salud pública, la agricultura y la industria, ha continuado desarrollándose para tratar de contribuir cada vez más a solucionar las actuales necesidades del país. Para esto se ha seguido trabajando en la preparación del personal, en las investigaciones básicas y aplicadas y en el fortalecimiento del sistema nacional de seguridad nuclear y protección radiológica.

En marzo de 1990 Cuba inició un programa para la atención médica, que incluye la rehabilitación física y mental, de niños procedentes de las áreas afectadas por el accidente de

Chernobil. Desde entonces han viajado a Cuba más de 11 mil niños de Ucrania, Belarús y Rusia.

Los especialistas del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) participan en este programa integral organizado por el Ministerio de Salud Pública cubano. Ellos han valorado el impacto radiológico en más de 5000 niños, con el empleo de métodos de dosimetría física y radiobiológicos. Por su magnitud este programa solo se puede comparar con los estudios realizados por especialistas de Ucrania y con el Proyecto Internacional de Chernobil, concluido en 1991.

Checoslovaquia

En septiembre y octubre de 1992 se firmaron dos cartas de intención entre la Czech Electricity Company (CEZ) y Westinghouse para suministrar los sistemas de instrumentación y control (I y C) y el combustible nuclear para los dos reactores VVER-1000 que se construyen en Temelin. Los contratos, por un valor de 220 millones de dólares y 125 millones de dólares,

respectivamente, deberían concluirse en diciembre.

La I y C de Westinghouse sustituirá a la prevista en un inicio para Temelin, de diseño soviético. Con el suministro de este combustible, la compañía se convierte en la primera de Occidente, que fabricará combustible para reactores VVER. El uranio checo se enviará a EE.UU. para su enriquecimiento y fabricación de los conjuntos combustibles con el diseño VVANTAGE. El contrato incluye la primera carga de la zona activa y cuatro recargas más.

Los dos reactores de Temelin están al 80% de ejecución. Aunque el plan del gobierno considera la puesta en marcha de la primera unidad para 1995, la situación financiera y los problemas organizativos y técnicos dificultan que esto se cumpla. Al parecer, el gobierno no ha decidido aún sobre la terminación de esta central. Algunos se cuestionan la necesidad de esta obra ya que ha disminuido el consumo eléctrico en el último período.

El primer ministro de la República Checa, Vaclav Klaus, aprobó los

contratos con Westinghouse, lo que indica su apoyo a la continuación de Temelin. Sin embargo, el ministro del Medio Ambiente, Frantisek Benda, señaló que esta decisión se tomará luego de análisis económicos y ecológicos detallados.

La situación de la compañía Skoda es bastante difícil, por la falta de recursos financieros y la inexistencia de nuevas solicitudes para fabricar equipamiento para reactores a corto plazo. A fines de septiembre se anunció que se estaba deteniendo toda la producción en las fábricas de ingeniería de Pilsen. No obstante, las corporaciones Siemens y Framatome decidieron formar una empresa cooperada con Skoda, y se esperaba que el Ministerio de Industria y Privatización la aprobara en noviembre de 1992. La nueva compañía nombrada Skoda Energo se dedicaría a fabricar equipamiento para reactores nucleares, turbinas y generadores y para la manipulación de combustible.

La separación de las repúblicas Checa y Eslovaca como estados independientes a partir de 1993 provocará una división bastante pareja



No proliferación y salvaguardias

Durante 1992 nueve estados se adhirieron al Tratado de no proliferación de las armas nucleares (TNP), con lo que este cuenta con más de 150 signatarios. Entre ellos están las dos potencias nucleares que aún no lo habían hecho: China y Francia; algunos estados de la antigua URSS como Uzbekistán, Estonia y Azerbaidzhán; además, Eslovenia, Myanmar, Níger y Namibia. También expresaron su intención de adherirse al Tratado otras repúblicas de la CEI, como Ucrania, Belarús y Kazajistán.

A lo largo del año la Junta de Gobernadores del OIEA acordó medidas para reforzar el sistema de salvaguardias del Organismo. Se reafirmó el derecho del OIEA, cuando existan acuerdos de salvaguardias amplios -o totales-, a realizar inspecciones especiales que pueden incluir sitios que el país en cuestión no haya declarado, pero que por alguna razón sean sospechosos de actividades nucleares no aceptadas. También se concluyó que estaba en correspondencia con el Estatuto del OIEA obtener información de sitios sospechosos a partir de otras fuentes además del propio país.

Los líderes del Grupo de los Siete declararon en su cumbre de julio último que apoyaban la extensión indefinida del TNP y que cualquier cooperación nuclear futura estará condicionada a la firma del Tratado y la adopción de salvaguardias totales con el OIEA.

En abril del 92 el Grupo de Suministradores Nucleares, también llamado Club de Londres, acordó nuevas directrices para la transferencia de tecnología nuclear. Se adoptó un acuerdo para controlar las exportaciones de una lista de productos de uso doble (militar y civil) y se estableció que la transferencia de estos a estados no poseedores de armas nucleares solo puede ejecutarse cuando ese estado ponga en vigor un acuerdo con el OIEA que requiera la aplicación de salvaguardias sobre todas sus actividades nucleares con fines pacíficos presentes y futuras.

en la nucleoeenergética. Cada parte quedará con una central nuclear en operación (Dukovany y Bohunice) con cuatro reactores VVER-440 cada una, y con una CEN en construcción: Temelin (2 x VVER-1000) y Mochovce (4 x VVER-440).

Los líderes políticos de ambas repúblicas han expresado que continuarán apoyando la operación de las CEN existentes. Eslovaquia, en particular, ha mantenido su postura ante la fuerte presión de Austria, que solicita el cierre de dos reactores modelo V-230 de Bohunice.

Las juntas de energía de los dos estados estaban considerando algunas propuestas preliminares de exportadores extranjeros para nuevos reactores que podrían construirse en Temelin y Mochovce.

China

La primera CEN del país, Quinshan 1, con un reactor PWR de 300 MWe, que inició su operación en diciembre de 1991, continuó elevando su potencia y se esperaba que alcanzara el 100% en agosto para lograr la operación comercial en 1993.

La construcción de dos reactores de tecnología francesa (PWR-900 MWe) en Guangdong prosiguió según lo previsto y estos deberán iniciar su funcionamiento en 1993 y 1994.

El ministro chino de Energía, Huang Yicheng, advirtió que la escasez de recursos energéticos será cada vez mayor en el futuro, si las inversiones en este sector no aumentan en proporción al alto índice de crecimiento económico, que en 1992 se elevó al 10%. Las inversiones en el sector energético decrecieron en 1993 por tercer año consecutivo. Para satisfacer la creciente demanda, China deberá incrementar su capacidad generadora de 165 mil MWe actualmente, hasta 1 200 000 MWe en veinte años. Según opinó el Ministro, la única forma de alcanzar este objetivo es construir más CEN en el país.

En marzo de 1992, China se adhirió formalmente al TNP, cuando entregó el instrumento de acceso al primer ministro británico, John Major. El Reino

Unido es uno de los tres estados depositarios de este Tratado.

Egipto

En septiembre se firmó en El Cairo un contrato por un valor de 60 millones de dólares para adquirir un reactor de investigaciones de 22 MWt de la empresa argentina INVAP S. E. El reactor se construirá en el centro Inshas de la Organización de Energía Atómica de Egipto y deberá concluirse en cinco años. La instalación, que estará sometida a salvaguardias del OIEA, se empleará en medicina nuclear, ensayos de materiales, investigaciones básicas, tecnología nuclear y entrenamiento de personal.

Eslovenia

La operación del reactor PWR de Krsko fue interrumpida por la guerra civil en Yugoslavia, pero ahora funciona nuevamente y lo atiende Eslovenia. Croacia y Eslovenia financiaron conjuntamente este reactor y la electricidad que produce se reparte entre los dos estados.

España

La última versión del Plan Nacional de Energía, que debería aprobar el parlamento de esta nación, establece que la moratoria sobre la construcción de centrales nucleares se mantendrá hasta el año 2000.

No han sido suficientes los esfuerzos de las compañías privadas para convencer al gobierno de la necesidad de elevar la capacidad nucleoelectrónica para satisfacer la creciente demanda.

El Plan fomenta el empleo del carbón nacional e importado, del gas natural procedente de Argelia y de las importaciones de electricidad francesa, en su mayor parte de origen nuclear.

Se están desarrollando programas de extensión de la vida útil en los reactores Zorita y Santa María de Garoña, que comenzaron a funcionar en 1969 y 1971, respectivamente. Además, se planea sustituir los generadores de vapor en las centrales de Asco, Almaraz y Vandellós 2, con un total de cinco reactores PWR suministrados por Westinghouse.

Se concluyó la instalación para almacenar desechos radiactivos de

baja y media actividad de El Cabril, y se esperaba obtener la autorización para la explotación antes de finalizar el año.

Estados Unidos

El 24 de octubre de 1992 el presidente George Bush firmó la nueva Ley de Energía, que se aprobó luego de dos años de debate.

En esta la opción nuclear tuvo un impulso importante al acordarse, entre otros aspectos:

- reformas que facilitan el proceso de licenciamiento,
- otorgar 100 millones de dólares durante 5 años para apoyar el diseño de reactores avanzados,
- estimular la continuación de las investigaciones y desarrollo de reactores modulares de altas temperaturas refrigerados por gas y reactores de metal líquido con vistas a lograr la selección de una instalación experimental en 1998,
- establecer una corporación gubernamental que se encargará de las operaciones civiles de enriquecimiento de uranio del Departamento de Energía (DOE) y
- disminuir los impuestos de las compañías sobre los fondos destinados al cierre de las plantas de enriquecimiento.

La nueva ley trata de la eficiencia energética y el uso de las fuentes renovables, con impuestos ventajosos para la energía solar, geotérmica, eólica y biomasa. La hidroenergética parece ser la menos beneficiada, ya que la ley refuerza las restricciones sobre el empleo de los recursos naturales tales como ríos y tierras.

Todo parece indicar que la Ley de Energía provocará cambios significativos en la industria eléctrica del país, ya que introduce la competencia en esta industria regulada.

A fines de año también se aprobó otra ley que autoriza al DOE a comenzar una serie de pruebas de embalajes de desechos transuránicos en la Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) en el desierto de New Mexico.

WIPP es un complejo de cavernas subterráneas en rocas salinas, que el DOE quiere utilizar como repositorio permanente para los desechos transuránicos generados por los programas de defensa nacional y que se almacenan en la actualidad de forma temporal en las instalaciones militares.

En febrero de 1992 se cerró definitivamente la central de Yankee Rowe, motivado en lo fundamental por problemas económicos. El reactor PWR de 180 MWe era el más antiguo del país en operación desde 1961. Según se informó había disminuido de forma significativa la demanda de energía, que podía satisfacerse con otras fuentes a un costo inferior al de esta central nuclear.

Después de una prolongada oposición, se inició en junio el cierre del reactor de agua en ebullición (BWR) de 809 MWe de Shoreham, cuando la Comisión de Regulación Nuclear aprobó el plan de cierre y autorizó el desmantelamiento.

En octubre de 1992 seis repúblicas exsoviéticas firmaron acuerdos para evitar el dumping de uranio hacia EE.UU. Estos acuerdos limitan la cantidad de uranio que Kazajistán, Rusia, Ucrania y Uzbekistán de conjunto pueden vender a los consumidores norteamericanos a determinados precios. El precio mínimo establecido es \$13/lb U_3O_8 ; pero por encima de \$21/lb U_3O_8 no existe límite para la cantidad de uranio a vender. Entre estos dos valores, se regula la cantidad de uranio a 3-6 millones de libras. Kyrgyztán y Tadjikistán también firmaron acuerdos similares; pero sin cuotas, ya que ellos no tienen minas de uranio en producción en la actualidad.

Un año antes las compañías mineras de EE.UU. habían demandado a la antigua URSS, alegando que esta estaba inundando el mercado norteamericano con uranio natural y enriquecido a precios por debajo del costo de producción.

Filipinas

En marzo del 92 el gobierno de esta nación y Westinghouse anunciaron

que habían acordado los términos de un pacto para concluir el pleito que acusa a la compañía norteamericana de soborno y poder finalizar y poner en funcionamiento el reactor PNPP-1 (PWR) de 600 MWe, detenido desde 1986. El arreglo plantea que Westinghouse deberá compensar a Filipinas con dinero y servicios por un valor de 100 millones de dólares, pero le permite asumir la operación del reactor, mientras el gobierno paga por su terminación y operación.

El acuerdo que debe aprobar el gobierno filipino prevé que el reactor -al 98 % de ejecución- pase un período de mejoras y preparación para la puesta en marcha, de manera que pueda funcionar para 1995.

Se piensa que estos trabajos -a un costo aproximado de 400 millones de dólares- pueden hacer que la CEN cumpla todas las normas de licenciamiento establecidas por la Comisión de Regulación Nuclear de EE.UU. para centrales en su territorio.

Finlandia

A pesar de contar con cuatro reactores con indicadores de funcionamiento (por ejemplo el factor de carga) ubicados entre los mejores a nivel mundial, Finlandia no se ha decidido aún por la construcción de su quinta unidad nucleoelectrónica.

Aunque la decisión se debía haber tomado a inicios de 1992, esta se retrasó porque los políticos querían analizar una propuesta alternativa para el empleo de gas natural en turbinas de ciclo combinado, cuyos resultados no estarían hasta fines de año.

En noviembre el parlamento de Finlandia votó en contra de los planes para construir el quinto reactor en el país, al aprobar una resolución presentada por un grupo antinuclear, que se opone a cualquier nuevo proyecto nuclear.

Según las leyes existentes, el gobierno puede aún introducir una propuesta concreta al parlamento para aceptar la solicitud formal de construir el quinto reactor, aunque el parlamento tomará la decisión final. La industria y las compañías de electricidad están interesadas en mantener la opción

nuclear que junto al carbón se consideran las dos variantes más prácticas para satisfacer el incremento de la demanda eléctrica, a pesar de los planes de ahorro estimulados por el gobierno. Al parecer no se dirá la última palabra antes de mediados de 1993.

El repositorio subterráneo para evacuar desechos radiactivos de baja y media actividad que se construye desde 1988 en el emplazamiento de la CEN de Olkiluoto, se terminó según lo previsto.

Francia

Durante el año otros dos reactores PWR de 1300 MWe cada uno iniciaron su funcionamiento: Penly 2 logró su primera criticidad en enero y a mediados de año entró en operación comercial, y Golfech 2 lo hará a inicios de 1993. Con esta el país posee un total de 20 unidades de este tipo.

La puesta en marcha de los tres primeros reactores de diseño N4 (PWR de aproximadamente 1400 MWe), que se construyen actualmente: Chooz B1, Chooz B2 y Civaux 1 está prevista para el período 1995-1997.

En mayo se cerró la unidad Saint Laurent A2, luego de 21 años de operación. Ahora queda en Francia solo un reactor refrigerado por gas (GCR) en funcionamiento: Bugey 1, que se espera sea detenido en 1994.

Electricité de France (EDF) anunció su intención de ordenar otro reactor N4 para Civaux 2, cuya construcción podría comenzar a inicios de 1993. En dependencia del incremento en la demanda de electricidad pueden hacerse otras solicitudes cada año, en el resto de la década.

El reactor reproductor rápido (FBR) de 1200 MWe Superphenix no pudo reiniciar la operación en el año, ya que a fines de junio (a punto de cumplirse los dos años de plazo para que se hiciera necesario el relicenciamiento) el entonces primer ministro, Pierre Bérégovoy, decidió no autorizar el arranque del reactor.

La razón principal de la negativa es el riesgo de un incendio con sodio en el segundo circuito de la instalación, que

fue uno de los aspectos señalados en el informe elaborado por la Dirección de Seguridad de las Instalaciones Nucleares. El informe, no obstante, propuso autorizar la operación por un período de tres meses y al 30% de la potencia nominal. EDF, que opera la central, quería que se aprobara la operación al 50% de la potencia para poder cubrir los costos.

El reactor, que comenzó a trabajar en 1985, ha presentado varios problemas, y funcionó solo 174 días en este período, mientras que su costo es de cerca de cinco mil millones de dólares. El primer incidente ocurrió 19 meses después de su entrada en servicio (en mayo de 1987), cuando se descubrió un escape de sodio en el carrusel usado para transportar los elementos combustibles hacia y desde la zona activa. En abril de 1989 el Superphenix reinició su operación, pero luego se extendió la parada planificada para estudiar un suceso similar al ocurrido en el Phenix con una burbuja de argón.

Un año después (abril 1990), cuando el reactor había acabado de empezar a funcionar se descubrió otro escape de sodio en el segundo circuito que provocó la parada hasta hoy, pues aunque las reparaciones tomaron un mes, luego de varias semanas de operación se conoció que el sodio estaba contaminado y oxidado. Todo este tiempo se ha empleado en descontaminar el sodio.

Las últimas informaciones indican que el 28 de diciembre de 1992, Pierre Beregovoy anunció que su gobierno estaba dispuesto a poner en marcha el Superphenix nuevamente, ya que se habían cumplido las condiciones de seguridad exigidas. Esta situación la han utilizado los ecologistas para emprender una fuerte campaña de críticas alegando la escasa rentabilidad del reactor y la amenaza del plutonio para la proliferación nuclear.

En abril de 1992 se inauguró oficialmente la planta de reprocesamiento de combustible agotado UP3 en La Hague, con una capacidad de 800 t al año. La instalación trabaja desde fines de 1989 en estado de puesta en marcha con muy buen comportamiento. Las

inversiones en esta planta han sido de 4800 millones de dólares y actualmente se incorporan modificaciones a la planta UP2 en operación en este sitio, para elevar su capacidad de 400 t a 800 t al año, lo que se espera concluirá en 1994.

Durante el año el parlamento francés aprobó la adhesión de Francia al TNP, que había anunciado el presidente Francois Mitterrand en 1991.

Holanda

A pesar de reiterados intentos por abrir el debate político sobre la posibilidad de construir otros reactores nucleares en el país (Holanda solo posee dos unidades nucleoelectricas en operación) para fines de siglo, el actual gobierno ha excluido la perspectiva de una decisión antes de las próximas elecciones generales de 1994.

Mientras tanto el gobierno tiene un programa que fomenta la disminución del consumo eléctrico y un mayor empleo de lo que llama "generación eléctrica descentralizada". La Junta Central de Electricidad del país critica este plan y señala que la energía nuclear puede desempeñar un papel importante en la disminución de la contaminación ambiental, que es uno de los objetivos priorizados del gobierno.

Se ha iniciado la planificación para extender la vida útil del reactor BWR de 50 MWe de Dodeward con 25 años de operación.

Hungría

No obstante los buenos indicadores de operación y la correcta atención que siempre han tenido las cuatro unidades VVER-440 de la CEN húngara de Paks, las autoridades del país decidieron iniciar a fines de 1991 un amplio programa para evaluar la seguridad de estas unidades y analizar si pueden satisfacer los requerimientos internacionales actuales.

Se espera que este estudio concluya en 1993 y se realicen propuestas para llevar a cabo un programa de mejoramiento de la central.

India

El programa nucleoeenergético indio, que preveía tener una capacidad

Tratado de Tlatelolco



En febrero de 1992, en ocasión del XXV aniversario de la apertura a la firma del Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe, San Vicente y Las Granadinas firmo, ratificó y otorgó la dispensa prevista en el artículo 28 del Tratado, quedando incorporado, mientras que Belice lo firmó.

Francia, el último país que faltaba por ratificar el Protocolo I, que atañe a los estados con territorios ubicados en la zona de aplicación del Tratado, entregó en agosto el correspondiente documento de ratificación, con lo cual ambos Protocolos entraron plenamente en vigor.

En ese mismo mes Santa Lucía firmó el Tratado de Tlatelolco y se aprobaron, durante el VII Período Extraordinario de Sesiones de la Conferencia General del Organismo para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe (OPANAL), las enmiendas a los artículos 14, 15, 16, 19 y 20 del Tratado (de carácter técnico) propuestas conjuntamente por México, Argentina, Brasil y Chile, lo que abre la posibilidad para la plena incorporación de los tres últimos al Tratado.

Al resolverse esta situación e incorporarse Cuba, según reiteró esta en la Junta de Gobernadores del OIEA en septiembre de 1992, se logrará la integración de toda la zona latinoamericana y del Caribe al Tratado de Tlatelolco.



nucleoeléctrica instalada de 10 mil MWe para el 2000, se redujo casi a la mitad (aproximadamente 6000 MWe).

El presidente de la Comisión de Energía Atómica (CEA), P. K. Iyengar, anunció que el objetivo había variado a causa de las afectaciones sufridas por el programa: una significativa reducción de las asignaciones financieras para el sector nuclear desde un valor de 120 mil millones de rupias para el plan quinquenal de 1992-1997 (proyectado por la CEA) hasta 40 mil millones de rupias; el incumplimiento de los proyectos en los plazos previstos; el alto costo y los problemas técnicos, incluidos los suministros de componentes.

Esta situación llevó a la Comisión de Energía Atómica a anunciar que tanto la generación de energía nucleoeléctrica como la industria nuclear se abrirán a los inversionistas privados para tratar de aliviar la carencia de recursos.

El gobierno descartó la posibilidad de llevar a la práctica el acuerdo con la ex-URSS que establecía el suministro de dos reactores VVER-1000, porque la parte rusa no puede otorgar el crédito prometido.

En mayo de 1992 se realizó la primera carga del reactor Kakrapar 1, un PHWR de 235 MWe. La CEA anunció que por primera vez en el mundo se colocaban conjuntos de óxido de torio en la carga inicial de este tipo de reactor. Los 35 conjuntos de torio deberán realizar las funciones de los 384 conjuntos de uranio que antes se requerían. En septiembre el reactor logró su primera criticidad. La segunda unidad de esta central deberá entrar en funcionamiento en 1993.

Indonesia

Una compañía japonesa está realizando un estudio de factibilidad para construir centrales nucleares en Indonesia, el cual deberá terminarse en cinco años.

Se estima que el país necesitará en un inicio cerca de 2000 MWe de capacidad nucleoeléctrica que podrán distribuirse en unidades de 600 MWe a ubicarse en la isla mayor: Java. El

primer reactor puede entrar en operación en el 2004.

Se ha comenzado a trabajar con la opinión pública para lograr que la población acepte los probables emplazamientos.

Irak

En diciembre de 1992 el OIEA concluyó su inspección número 16 al programa nuclear iraquí. Estas inspecciones se iniciaron en mayo de 1991 en cumplimiento de la Resolución 687 del Consejo de Seguridad de la ONU para el cese del fuego de la guerra del golfo Árabe Pérsico.

Los resultados obtenidos hasta la fecha, según el Organismo, dan una imagen abarcadora y detallada del programa nuclear de Irak, aunque no se excluye la posibilidad de que queden cosas por descubrir y por tanto se estima necesario continuar realizando las inspecciones. Todos los materiales, edificaciones y equipamiento conocidos, que se pudieran utilizar con fines militares han sido destruidos.

Irán

Un equipo de inspectores del OIEA visitó Irán a inicios de año y concluyó que no había observado nada sospechoso que no estuviera de acuerdo con un programa de aplicaciones pacíficas de la energía nuclear. Entre las instalaciones visitadas están la CEN de Bushehr (con dos unidades PWR y cuya construcción está detenida al 80% y 65-70%, respectivamente), el Centro de Tecnología Nuclear de Esfahan y un proyecto de exploración de uranio.

El jefe de la Organización de Energía Atómica de Irán, Reza Amrollahi, expresó que su país desea terminar la CEN de Bushehr lo más pronto posible, ya que existe gran necesidad de energía y esta central podría suministrar entre 10 y 20% de la demanda nacional.

Ante la persistente negativa del gobierno alemán a finalizar esta obra, Irán ha buscado otros suministradores para nuevos proyectos nucleares en el país.

En septiembre de 1992 se firmó un acuerdo de cooperación con China y se esperaba firmar otro con Rusia, los cuales incluían la adquisición por parte de Irán de reactores energéticos.

En febrero de 1993 China e Irán concertaron un pacto para construir dos reactores de 300 MWe en la provincia de Khuzestan, el cual estará sometido a salvaguardias del OIEA.

Japón

El programa nuclear japonés continúa teniendo un papel principal en el programa energético del gobierno. Los planes aprobados en octubre de 1990 prevén duplicar el número de reactores nucleares en los próximos 20 años -actualmente posee 42-, con el objetivo de tener en el año 2000 una capacidad nucleoeléctrica instalada de 50 GWe y de 72 GWe en el 2010. Ya hoy se reconoce que esta meta será difícil de alcanzar. Además, la oposición pública ha crecido un poco, lo que dificulta la aprobación de los emplazamientos para proyectos nucleares.

Japón sigue con su programa de desarrollo de reactores rápidos con el fin de construir un reactor FBR experimental para el 2005 y de lograr la etapa comercial en el próximo siglo. También planea reprocesar el plutonio para emplearlo en reactores FBR y en reactores de agua ligera (LWR) como combustible MOX. El uranio obtenido de la relaboración del combustible nuclear agotado también se empleará en reactores LWR.

La compañía operadora del primer reactor FBR japonés -Monju- anunció por segunda vez otra fecha para su primera criticidad -octubre de 1993-, en lugar de las anteriores -octubre del 92 y marzo de 1993-. Esta decisión se debió al retraso en las pruebas de arranque, por problemas de expansión térmica en tuberías del segundo circuito. Además, la fabricación del combustible también se ha demorado por dificultades para lograr la adecuada calidad de las pastillas de combustible.

El corto período de operación del buque nuclear japonés Mutsu concluyó el 25 de enero de 1992,

Desarme



A pesar de que en julio de 1991 se logró, tras 10 años de negociaciones, que EE.UU. y la antigua URSS firmaran el Tratado de Reducción de Armas Estratégicas (START), la desintegración de esta última, que dio lugar a la aparición de cuatro nuevas potencias nucleares (Rusia, Ucrania, Belarús y Kazajistán) provocó que el Tratado no entre aún en vigor.

El 23 de mayo de 1992, los cuatro estados de la CEI y EE.UU. firmaron un protocolo al START donde los primeros se comprometieron a asumir las obligaciones de la ex-URSS. Este protocolo entrará en vigor al intercambiarse los respectivos instrumentos de ratificación.

En junio Bush y Eltsin firmaron un memorandum conjunto de entendimiento sobre futuras reducciones de las armas estratégicas ofensivas a realizarse en dos etapas, que fue la premisa para firmar el START II.

Por último, el 2 de enero de 1993 los dos presidentes firmaron en Moscú el START II, que plantea la reducción del número de ojivas de los dos países en dos tercios hasta el año 2003, pasando de unas 10 mil actualmente a 3000 para Rusia y 3500 para EE.UU. Esto pudiera lograrse en el año 2000, si este último ayuda a Rusia a destruir sus armas nucleares. El START II es considerado el tratado de mayor alcance en la historia del desarme mundial.

Ucrania, con el mayor potencial nuclear después de Rusia, no ha ratificado aún el START, aunque su presidente, Leonid Kravchuk, prometió a inicios de 1993 que su país lo hará. Ucrania puso como condiciones para ratificar el START que las demás potencias nucleares le den garantías de seguridad y que se le otorguen créditos para dismantelar las armas y tener el derecho de propiedad sobre los materiales fisionables en ellas contenidos.

Kazajistán y Rusia ratificaron el tratado START, y el presidente del parlamento bielorruso, Stanislav Shushkevich, expresó que esperaba que su país se convirtiera próximamente en un estado no nuclear.

cuando el reactor se detuvo. El único barco de propulsión nuclear japonés concluyó su programa de pruebas a fines de 1991 y ahora se utilizará de nuevo con generadores diesel. El reactor se enviará a una exhibición especialmente concebida, luego de su desmantelamiento, lo cual tomará cerca de cuatro años.

En agosto, el reactor Tokai 2 (1100 MWe) de la Japan Atomic Power Co., que inició su operación en noviembre de 1978, se convirtió en el primer reactor BWR del mundo en alcanzar un récord de generación de 100 millones de MWh. En este mismo mes se aprobó un nuevo emplazamiento en Higashidori, ubicado en la prefectura de Aomori, en el extremo norte de la isla Honshu. Los planes son construir cuatro reactores BWR de 1100 MWe, el primero de los cuales comenzará a funcionar cerca del 2002.

La construcción de la unidad 7 de la central Kashiwazaki Kariwa, con un diseño avanzado de reactor BWR (ABWR) de 1356 MWe, suministrado por General Electric (EE.UU.), se inició oficialmente en febrero del 92 y deberá concluirse en 1997, un año más tarde que la unidad 6 del mismo tipo.

Se esperaba que en diciembre lograra su primera criticidad el reactor BWR de 1137 MWe de Hamaoka 4, operado por Chubu Electric, luego que se concluyera la carga de combustible iniciada en noviembre. La operación comercial está prevista para fines de 1993.

La primera etapa de la planta de enriquecimiento de uranio de Rokkasho, con una capacidad de 150 000 uts inició su

operación comercial en marzo. La capacidad irá aumentando anualmente hasta llegar a 1,5 millones de uts.

El cronograma de la planta de reprocesamiento, que estará también en Rokkasho, se retrasó de nuevo, ya que las agencias gubernamentales continúan evaluando el proyecto antes de iniciar la construcción, pospuesta para marzo de 1993. La fecha de la operación comercial se cambió también para el 2000. Esta instalación permitirá a Japón reprocesar el combustible agotado en sus reactores de agua ligera (lo que actualmente realiza en Francia y el Reino Unido) para luego utilizar el plutonio separado en reactores LWR y FBR.

Durante el año despertó gran interés en la opinión pública internacional e incluso en gobiernos de varios países el transporte por mar de 1,7 t de plutonio procedentes de Francia con destino a Japón. El buque japonés Akatsuki Maru partió del puerto de Cherburgo el 7 de noviembre y arribó al puerto japonés de Tokai el 5 de enero de 1993. La nave fue diseñada especialmente para esto y según aseguró el gobierno de Japón, que acordó el plan de transportación con Francia y EE.UU., cumplía todos los requisitos de seguridad exigidos para el transporte seguro de sustancias radiactivas. El plutonio reprocesado en La Hague proviene del combustible nuclear agotado de las CEN de Japón, que a su vez se fabricó con uranio de origen norteamericano. Según informó el gobierno del país asiático, se prevé el transporte de 30 t de plutonio en los próximos 20 años.

Varios países que se encontraban en la supuesta ruta del Akatsuki Maru (la cual el gobierno japonés mantuvo en secreto por razones de seguridad) se manifestaron en contra de que el barco cruzara sus aguas territoriales y la organización ecologista Greenpeace, que lanzó una gran campaña al respecto, siguió el cargamento durante gran parte de la travesía. La operación concluyó sin incidentes.

Lituania

Lituania posee dos reactores RBMK de 1500 MWe cada uno (con las potencias nominales mayores del

mundo, aunque actualmente operan a 1250 MWe), con un diseño moderno y con todas las modificaciones posteriores al accidente de Chernobil.

Después de la separación de la antigua URSS, el nuevo estado ha ido estableciendo poco a poco su propia infraestructura para la operación de la central de Ignalina. A la vez, se ha mantenido la colaboración con el Ministerio de Energía Atómica de Rusia para la asistencia técnica a la planta y se negocian acuerdos para el suministro de combustible y otros servicios de apoyo.

Pakistán

El 26 de diciembre de 1992 se inició oficialmente en Pakistán la construcción de una CEN con un reactor PWR de 300 MWe suministrado por China. Un año antes ambos países habían firmado un contrato al respecto que plantea que la transferencia se efectuaría bajo salvaguardias del OIEA. El emplazamiento seleccionado es Chasma, en la provincia de Puniab. El reactor es similar al de Qinshan, que opera desde fines de 1991, y fue diseñado por especialistas chinos.

A principios de febrero de 1992 el secretario del Ministerio de Asuntos Exteriores de Pakistán, Shahryar Khan, admitió públicamente que su país tenía los componentes y el know-how para fabricar al menos una bomba nuclear. Por primera vez un alto ejecutivo confirmó abiertamente las posibilidades del programa nuclear nacional.

La afirmación de Shahryar Khan tuvo lugar después de reiterar, en encuentros con personalidades de la administración y el Congreso de EE.UU., que Pakistán ni explotará un dispositivo nuclear ni venderá tecnología a otros países. Señaló también que entre los componentes que poseen se encuentran núcleos de uranio altamente enriquecido para armas atómicas.

Perú

A inicios de año el gobierno peruano autorizó y convocó a inversionistas nacionales y extranjeros a participar en la explotación comercial de los servicios e instalaciones del Centro

Nuclear de Huarangal. Esta decisión se debió a la grave situación financiera que enfrentan las actividades nucleares en el país, que han hecho que el centro inaugurado en 1988 no haya podido trabajar de acuerdo con su capacidad de diseño.

Según informó entonces el presidente del Instituto Peruano de Energía Nuclear, José Dellepiani, la convocatoria pretende abastecer en un futuro cercano parte del mercado internacional de radisótopos.

Polonia

En abril de 1992 dejó de existir el Instituto de Energía Atómica de Polonia por falta de fondos. Esta decisión trae consigo una gran interrogante sobre el futuro del centro de investigaciones nucleares de Swierk y de los dos reactores de investigaciones: Ewa y Maria. El cierre de estos reactores dejaría a Polonia sin su única fuente de radisótopos para aplicaciones médicas e industriales.

Reino Unido

En noviembre de 1989 el gobierno británico anunció su determinación de no incluir a la industria nuclear en la privatización prevista para la industria eléctrica nacional.

A partir de entonces, se crearon dos nuevas compañías -Nuclear Electric y Scottish Nuclear- encargadas de atender los reactores Magnox y los reactores avanzados refrigerados por gas (AGR). Nuclear Electric, además, es responsable de construir y operar el primer reactor PWR del país: Sizewell B. El gobierno planteó que realizará una revisión general de las perspectivas de la energía nuclear para la nación en 1994.

Hoy la nucleoeenergética representa el 20% de la industria eléctrica del Reino Unido, integrada por centrales de carbón (que representan dos tercios del total), de petróleo e hidráulicas. En los próximos años se prevé emplear gas en turbinas de ciclo combinado, las cuales podrían competir en cuanto a costos con las CEN.

La industria nuclear está preparando un informe para la revisión de 1994 que incluirá propuestas para construir

nuevas CEN que cumplan los requerimientos económicos, ambientales y de seguridad. Este informe se prepara bajo la orientación de Nuclear Utilities Chairmen's Group (NUCG), que representa a Nuclear Electric, Scottish Nuclear, BNFL y AEA Technology, y abarca evaluaciones de reactores, seguridad y licenciamiento, aspectos ecológicos y económicos de CEN, operación y mantenimiento, gestión de desechos, cierre definitivo y aceptación pública.

En el país se lleva a cabo una estrategia para continuar la operación de los reactores Magnox más allá de su tiempo de vida útil de 30 años, que se basa en las revisiones de seguridad a largo plazo que se efectúan en cada central.

El programa de desmantelamiento del reactor AGR de Windscale marcha bien. El reactor ya se desmanteló totalmente. La CEN de Berkeley, con dos reactores GCR, se encuentra en la primera fase de cierre definitivo, y ya se extrajo todo el combustible nuclear de la central.

La capacidad de generación de los reactores Magnox y AGR se ha elevado considerablemente y se han controlado los costos.

La construcción de Sizewell B continúa satisfactoriamente con un adelanto de ocho meses respecto al plan y dentro de los costos previstos. Se prevé realizar la carga del combustible y puesta en marcha a fines de 1993.

Se esperaba que a fines de 1992 Nuclear Electric solicitara los permisos de planificación general para dos unidades en Sizewell, además del ya obtenido para Hinkley Point C.

El NUCG espera adoptar una posición unida durante la revisión de 1994. Para esto tendrán que acordar aún si apoyarán la línea de réplica de Sizewell B o la selección de un diseño internacional de reactor PWR avanzado.

Se puede decir de forma general que después que el Reino Unido privatizó la industria eléctrica hace tres años, la industria nuclear, que enfrentaba entonces diversas dificultades con sus

reactores, ha logrado avances importantes en el comportamiento de estos, en los costos y otros aspectos, que dan una mejor imagen del sector nuclear en el país.

Sin embargo, la crisis política surgida a fines de año por las propuestas de cierre de casi la mitad de las minas de carbón, obligó al gobierno británico a posponer esta medida y permitir una revisión detallada de los costos de las diferentes fuentes de energía. En la práctica, la industria nuclear, que se preparaba desde 1989 para la revisión en 1994, se ve forzada ahora a una revisión inmediata que podría cambiar el balance energético nacional.

Aunque la responsabilidad principal por las propuestas de cierre de las minas de carbón recae sobre las recién privatizadas compañías eléctricas que se han sentido fuertemente atraídas por las centrales térmicas de gas, la industria nuclear ha recibido muchas críticas.

La planta de reprocesamiento de combustible agotado Thermal Oxide Reprocessing Plant (THORP) de BNFL tuvo atrasos en su puesta en marcha, que debía haberse ejecutado en diciembre de 1992. Esto se debió a que fue necesario esperar por el resultado de una consulta con la población sobre los nuevos límites de descargas radiactivas propuestas para Sellafield, lugar donde se ubica la THORP.

Otro suceso desfavorable para la esfera nuclear ocurrió en noviembre, cuando el gobierno determinó suspender el financiamiento al programa europeo de reactores rápidos (EFR) y después las empresas nucleares resolvieron no continuar financiando los trabajos de diseño del reactor EFR. Ambas decisiones entrarían en vigor en marzo de 1993.

Detrás de estas posiciones están el actual clima político, que mantiene a los departamentos del gobierno muy presionados para encontrar áreas donde se puedan disminuir los gastos, y las empresas nucleares que luchan por establecer su viabilidad económica antes de la revisión de 1994.

Los trabajos del reactor EFR los apoyan de conjunto el Reino Unido, Francia y Alemania, y son financiados de dos formas: los tres gobiernos la investigación y desarrollo, y los futuros usuarios las actividades de diseño del reactor.

En el Reino Unido, el gobierno señaló que esto no es una prioridad, ya que el desarrollo comercial de los reactores rápidos no llegará hasta el próximo siglo. La industria, a su vez, dijo que sola no puede continuar apoyando el programa.

El diseño del reactor EFR se basa en la experiencia de tres reactores FBR existentes en los tres países y la próxima fase será el desarrollo de un diseño genérico que puede construirse en cualquiera de los tres estados. En el plan original, esto debía realizarse en 1993 y la construcción comenzaría en 1997, pero a inicios de 1992 la fecha se pospuso para el 2000. En marzo de 1993 termina la fase de validación conceptual, a la que debe seguir el diseño de ingeniería.

La retirada británica ya se decidió. EDF ha estado muy ocupada en obtener la licencia para renovar la operación del Superphenix y ha expresado que desearía retrasar esta próxima fase del reactor EFR para fines de los años 90. Las empresas alemanas han gastado ya grandes sumas en su proyecto nacional (SNR-300) y también han participado en el Superphenix, por lo que tampoco están muy apuradas. El futuro del reactor EFR es por ahora incierto.

Rusia

A finales de enero de 1992 el Ministerio de Energía Atómica e Industria de la ex-URSS fue sustituido en Rusia por el Ministerio de Energía Atómica (Minatomenergo), y Viktor Mikhailov fue nombrado ministro. La institución deberá asumir la responsabilidad por el empleo de la energía nuclear con fines pacíficos y militares. También se creó la organización estatal Rosenergoatom para dirigir la operación de las centrales nucleares.

El Comité Estatal para la Supervisión de la Seguridad Nuclear y Radiológica (Gosatomnadzor), establecido en

diciembre de 1991 por un decreto de Boris Eltsin, realizará las funciones del antiguo Gosatomenergonadzor de la ex-URSS que respondía solo por las CEN. El nuevo Comité supervisará todas las instalaciones nucleares y radiactivas. Esto abarca aproximadamente 13 mil instituciones, además de las nueve CEN con 28 reactores.

El Minatomenergo ha desarrollado un plan de desarrollo nucleoeenergético que reconoce que a pesar de los problemas de seguridad que presentan los reactores de la primera generación, estos deberán continuar operando hasta el fin de sus tiempos de vida útil de diseño, para satisfacer la demanda de energía eléctrica del país. Se propone que los programas para mejorar la seguridad de los reactores RBMK y VVER-440 modelo V-230 se lleven a cabo lo más pronto posible y mientras tanto elevar la vigilancia en las unidades en operación.

Erik Pozdyshev, presidente de Rosenergoatom, expresó en la Conferencia Anual del Instituto del Uranio, que sesionó en septiembre, que el cierre de los reactores RBMK y VVER-440 de la primera generación es inaceptable para los estados de la CEI, ya que se privaría de energía a importantes regiones industriales. Además, señaló que su organización trabaja para mejorar la seguridad de los reactores, aunque no han recibido todavía la ayuda prometida por Occidente.

El plan adoptado por el Minatomenergo y aprobado por Eltsin tiene dos fases. La primera -hasta el 2000- prevé reforzar la seguridad de los reactores en operación con un cuidadoso monitoreo de los reactores de la primera generación, mientras se concluyen los programas de perfeccionamiento. Las nuevas capacidades nucleoeeléctricas estarán limitadas a algunos de los 15 reactores cuya construcción está detenida. Se prevé que la capacidad instalada para el año 2000 no supere los 25 GWe.

La segunda fase -hasta el 2010- incluye la construcción de nuevas CEN con seguridad mejorada, en cuyo

diseño ya se trabaja. Esto permitirá cerrar algunos de los reactores más viejos y elevar la capacidad nucleoelectrica hasta 43 GWe en el 2010.

A fines de año el gobierno de la Federación Rusa adoptó una disposición especial sobre la construcción de CEN en su territorio. Esta estipula que solo es posible proyectar nuevas centrales y ponerlas en operación con la aprobación de la Comisión Estatal de Peritos en Ecología y tras consultar con las autoridades locales y discutir ampliamente al respecto con la población. Es posible que en 1993 continúe la construcción de los reactores Balakovo 4, Kalinin 3 y Kursk 5. Los dos primeros con reactores VVER-1000 ya habían recibido la aprobación de los expertos en ecología y el tercero con un reactor RBMK-1000 estaba en estudio. Entre 1993-95 se realizarán análisis técnico-económicos para emplear la energía nucleoelectrica en el extremo oriente, norte, el bajo Volga, el Cáucaso del Norte y las regiones centrales de Rusia. Se analizarán las condiciones y plazos para la posible construcción de las unidades 6 y 7 de Novovoronezh, otro reactor para Belayarsk (BN-800) y la CEN del Sur de los Urales (con tres BN-800) donde solo se habían efectuado mínimos trabajos de construcción. Además se espera que cese la construcción de la CEN de Arjanguelsk y del reactor No. 4 de la CEN Kalinin; también se conoció que los parlamentos de las repúblicas de Bashkortostán y Tartarstán habían decidido poner término a las obras de la CEN de Bashkir (2 x VVER-1000) y Tartarstán.

El reactor de Sosnovyy Bor 3 (antes conocido como Leningrado) entró en operación nuevamente el 30 de junio del 92, luego de su parada a fines de marzo por un problema en un canal de combustible. El incidente, clasificado de nivel 2 en la Escala Internacional de Sucesos Nucleares, se produjo a causa de la rotura de una válvula de control del flujo en la parte inferior de uno de los 1600 canales de combustible. Esto bloqueó parcialmente la circulación del

refrigerante, lo que provocó un sobrecalentamiento y la falla del canal en la parte superior de la zona activa. La radiactividad fue contenida casi totalmente por el sistema de emergencia y los escapes al medio ambiente fueron muy pequeños. Durante la parada se sustituyeron todas las válvulas de ese tipo.

Como culminación de dos años de negociaciones en abril de 1992 se formó la empresa cooperada Reviss Services, que es una colaboración entre la Amersham International, la Asociación Productiva Mayak

permitirá a Siria adquirir un reactor en miniatura (fuente de neutrones) de 30 kWt suministrado por China. Este será el primer reactor nuclear con que contará el país y se podrá usar para investigaciones básicas y en la enseñanza.

Suecia

En correspondencia con la resolución parlamentaria aprobada en 1991, que establece el abandono de los planes del gobierno de iniciar el cierre de los reactores nucleares del país a partir de 1995, se continúa desarrollando un programa para buscar fuentes

FUSION ITER

Las actividades de diseño de ingeniería del ITER (sigla en inglés del reactor termonuclear experimental internacional) comenzaron oficialmente el 21 de julio de 1992, cuando los representantes de la Comunidad Europea, EE.UU., Japón y Rusia firmaron un acuerdo para cooperar en un programa de seis años por valor de 1200 millones de dólares. La fase de ingeniería se realizará a partir del diseño conceptual que se terminó a fines de 1990.

La decisión sobre la construcción del reactor deberá tomarse antes de 1998, y este proceso puede durar siete años a un costo aproximado de 5 mil millones de dólares. Según el OIEA, que auspicia el ITER, el objetivo es diseñar una instalación experimental que si se construye, puede demostrar la factibilidad científica y tecnológica de la energía de fusión.

(fabricante de radisótopos) y la AO Techsnabexport (la agencia de exportaciones de Rusia). Con la creación de esta nueva compañía se podrán comercializar a nivel internacional una variedad de sustancias radiactivas de producción rusa (a granel o en productos elaborados) que incluye:

- cobalto 60 para esterilización médica e industrial,
- cesio 137 para aplicaciones médicas e industriales,
- carbono 14 para marcaje de moléculas,
- americio 241 para detectores de humo, y
- criptón 85 para medidores de espesor, entre otros.

Siria

La firma de un acuerdo de salvaguardias con el OIEA, en febrero,

renovables de energía que sustituyan la energía nucleoelectrica. Un resultado insatisfactorio de este programa y una orientación favorable de la opinión pública hacia la energía nuclear pudieran provocar un cambio en el plazo final (2010) previsto para el cierre definitivo de los reactores suecos, que aportan hoy más del 50% de la electricidad del país.

Mientras tanto, se trabaja por incrementar la capacidad de generación de los reactores existentes. Esto ya se logró en Ringhals 1, luego de sustituir los generadores de vapor en 1990 y algo similar se propone realizar en 1995 en la unidad 3 de esta central.

Suiza

Como consecuencia de la moratoria impuesta por el referendum de 1990 a la construcción de nuevas CEN en el país en un período de 10 años, y el

programa de energía adoptado por el gobierno que prevé incrementar la generación eléctrica, las empresas suizas se han decidido a participar activamente en algunos proyectos nucleares franceses. Esta situación puede convertirlos en importadores netos de energía, después de haber sido durante muchos años exportadores de electricidad.

A los reactores suizos más antiguos -las dos unidades de Beznau y el reactor de Muehleberg- que entraron en funcionamiento alrededor de 1970, se les han realizado programas para mejorar la seguridad. Se puede decir que no existen razones técnicas que impidan extender su vida útil. Por el momento se planifica sustituir los generadores de vapor en los reactores PWR de Beznau.

Taiwan

Luego de 10 años de espera, la Taiwan Power Co. recibió la aprobación del gobierno de China para entregar la orden de construcción de su cuarta CEN, con dos reactores, en Yenliao, al extremo noreste de la isla. La compañía, que posee seis unidades en operación, ha señalado que si surgen nuevos proyectos, serán emplazados en los cuatro sitios ya existentes.

Ucrania

Ucrania enfrenta una difícil situación energética iniciada después del accidente de Chernobil y agudizada con la desintegración de la ex-URSS, ya que Rusia comenzó a exigir el pago por sus envíos de gas y petróleo en moneda libremente convertible.

En la actualidad continúa vigente la moratoria sobre la construcción de CEN establecida después de 1986 y la resolución aprobada por el parlamento de esta república a inicios de año para detener la operación de las unidades 1 y 3 de Chernobil en 1993. Con anterioridad se había previsto el cierre definitivo de la central para 1995, pero luego del incendio ocurrido en la sala de máquinas del reactor No. 2 en octubre de 1991 se decidió adelantar el plazo y no poner nuevamente en funcionamiento esta unidad.

El cierre definitivo de estos reactores será difícil, pues la electricidad de origen nuclear representa el 25% del total generado en el país.

Funcionarios de la nueva empresa nuclear estatal, Ukratomenergoprom han sugerido que la decisión de cierre definitivo de la CEN de Chernobil se puede revocar. Según ellos, las unidades 1 y 3 se pueden operar de forma segura hasta 1997 y el 2001, respectivamente, fechas en que se deberán reemplazar los elementos de grafito alrededor de los canales de combustible.

En 1992 se sustituyeron un total de 3200 válvulas de control de flujo en la parte inferior de los canales de combustible de las dos unidades de Chernobil, para evitar que ocurriera una falla similar a la que tuvo lugar en el reactor RBMK de la unidad 3 de Sosnovyy Bor en marzo.

Ukratomenergoprom planteó que la solución más real para satisfacer las necesidades energéticas es terminar la moratoria y concluir los reactores VVER-1000 de Rovno 4, Khmelnytsky 2, Zaporozhe 6 y Sur de Ucrania 4, que se encuentran detenidos; pero en avanzado estado de ejecución, ya que Ucrania necesita utilizar la energía eléctrica disponible en la actualidad, mientras se siguen tomando medidas para mejorar la seguridad y confiabilidad de las CEN en operación.

A fines de año debía presentarse al parlamento un programa de energía. El ministro para la liquidación de las consecuencias del accidente de Chernobil, Georgy Gotovchitz, señaló que aunque estaba convencido de que la nación no puede prescindir de la nucleoeenergética en la actualidad, el gobierno encontrará una fuerte oposición en el parlamento a un programa energético que se base en la opción nuclear. Gotovchitz agregó que una posibilidad concreta para satisfacer la demanda de energía es concluir seis reactores (en cuatro emplazamientos), cuya construcción está interrumpida.

Los reactores ucranianos aún dependen en gran medida de Rusia

para los servicios del ciclo del combustible. Aunque se ha mantenido la colaboración técnica entre las dos repúblicas para operar las CEN, han existido dificultades con los suministros del combustible fresco y la recepción del combustible agotado.

En julio el ministerio encargado de la liquidación de las consecuencias del accidente de Chernobil inició una competencia internacional con el fin de encontrar soluciones para elevar la seguridad del sarcófago del reactor averiado. Se ofrecieron 20 mil dólares para la mejor propuesta que pueda llevarse a cabo en cinco años. Se conoció que diferentes organizaciones de Francia, Alemania, Reino Unido, EE.UU. y el Instituto Kurchatov en Rusia expresaron su interés en el proyecto.

En febrero de 1992 el Gabinete de Ministros estableció un nuevo órgano regulador: el Comité Estatal para la Seguridad Nuclear y Radiológica, que realizará en la república las funciones del antiguo Gosatomenergondzor de la ex-URSS.

Uruguay

El gobierno uruguayo designó un grupo de trabajo con el objetivo de desarrollar un plan sobre la posible utilización de la energía nuclear para producir electricidad en el país. El grupo deberá contactar con organizaciones nacionales y extranjeras vinculadas a este asunto, con vistas a elaborar un informe antes de abril de 1994 para que el gobierno adopte una posición definitiva.

Vietnam

Vietnam ha mostrado interés en un acuerdo para la transferencia de tecnología para obtener un reactor de investigaciones de 5-10 MW del Centro Bhabha de Investigaciones Atómicas de la India (BARC).

Los especialistas de ambos países han estado trabajando de forma conjunta hace varios años. El director del BARC dijo que su país podrá suministrar el reactor, pero que esto tendrá que realizarse bajo las salvaguardias del Organismo Internacional de Energía Atómica.

Centro puntero de la medicina nuclear cubana



Por: Marta A. Contreras Izquierdo

El Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (INOR) de La Habana organiza cada dos años el curso regional de centelleografía médica patrocinado por el gobierno de Cuba y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

La centelleografía o gammagrafía forma parte de la medicina nuclear, disciplina que se ocupa de la aplicación de isótopos radiactivos con fines diagnósticos o terapéuticos.

A las primeras décadas de este siglo se remonta el uso (sin precedentes) por el químico húngaro George Hevesy de los radisótopos como trazadores en plantas vivas, técnica de la cual la medicina se apropió años después hasta convertirla en algo insoslayable para el diagnóstico médico. A finales de los 80, el 25% de los métodos de diagnóstico por imágenes empleados en pacientes ingresados en hospitales generales de EE.UU. correspondía a técnicas nucleares.

Los trazadores radiactivos funcionan como bioindicadores que participan en los procesos metabólicos del organismo y permiten monitorear el flujo sanguíneo y su distribución, medir los fluidos y el volumen celular, localizar tejidos y tumores o lesiones. Todo esto los ha situado como la piedra angular de la práctica de la medicina nuclear hoy día.

Cuba, cuyos índices de salud se corresponden en muchos aspectos con los de países altamente industrializados, considera vital el desarrollo de su medicina nuclear. El doctor René Cárdenas Valdés, jefe del departamento de esta especialidad en el INOR, da fe de esta prioridad.

El INOR, centro de referencia nacional para la oncología y radiobiología,

surgió del antiguo hospital oncológico de La Habana fundado en 1961 y donde ya al año siguiente se creó el departamento de medicina nuclear, pionero de la especialidad en el país.

La génesis, afirma Cárdenas Valdés, son los tratamientos de cáncer de tiroides con yodo y fósforo radiactivos que en 1950 inició el Dr. Zoilo Marinello Vidaurreta, reconocido oncólogo cubano.

La medicina nuclear surge con la oncología -por eso se le ha asociado durante años a padecimientos cancerosos-, sin embargo ella se extiende a la cardiología, endocrinología, nefrología, neurología y otras.

como una alteración de la función orgánica y después de la estructura del organismo.

La gammagrafía se utiliza ampliamente en estudios neurológicos (enfermedades de Alzheimer, Huntington, Parkinson); cardiológicos, como análisis de la función ventricular, regiones afectadas por cardiopatías isquémicas, infartos del miocardio o rechazos a trasplantes de corazón. En oncología es extenso el uso de esta técnica con anticuerpos monoclonales marcados radiactivamente para detectar focos tumorales, fundamentalmente el cáncer colorrectal, seguidos de melanomas, linfomas y tumores de ovario.

"Los anticuerpos monoclonales se obtienen a partir de células de una sola familia que se pueden multiplicar eternamente. Tienen la capacidad de detectar o eliminar de forma selectiva las células enfermas sin afectar las sanas. Como son muy específicas pueden usarse en el diagnóstico de la leucemia y otras enfermedades de la sangre así como en cualquier tipo de inmunodeficiencia y tumoraciones malignas."

Revista Cuba Internacional No. 8, 1989.

En Cuba, el triunfo de la Revolución en 1959 le dio un gran impulso a la medicina nuclear, pero la verdadera explosión, recuerda Cárdenas, sucede a partir de 1980 con la introducción de varias cámaras gamma, equipo que se comercializa internacionalmente a precios muy elevados.

La cámara gamma pertenece a las técnicas radisotópicas que emplean equipos formadores de imágenes, las cuales han llevado la medicina nuclear desde un enfoque anatómico y estructural hasta enfoques funcionales y al nivel de la bioquímica celular. Su importancia se comprende, explica el especialista cubano, porque la enfermedad se manifiesta primero

En Cuba hay instaladas un total de ocho cámaras gamma. Dos de ellas están en el INOR y el resto presta servicios en centros de La Habana y las provincias de Villa Clara y Santiago de Cuba.

El consumo nacional de radisótopos y compuestos marcados se elevó hasta más de un millón de dólares anuales en los últimos cinco lustros. Solo al INOR se destinan más de 100 mil dólares por año.

En estos momentos la desaparición de los mercados tradicionales y seguros con los que contaba Cuba en Europa del Este y el bloqueo económico mantenido por EE.UU. por más de 30 años, han obligado a variar la

estrategia de desarrollo en esta rama. El trabajo del INOR ha debido orientarse en dos líneas fundamentales: la producción de radiofármacos y la fabricación total o parcial de algunos equipos.

En este último aspecto los técnicos y especialistas del INOR han logrado desarrollar un imagama a un costo de solo 20 mil dólares, capaz de realizar gammagrafías de cualquier tipo con un software que incorpora lo mejor del resto de los programas de computación (de otras cámaras gamma) y la experiencia de más de diez años de trabajo con estas técnicas del INOR.

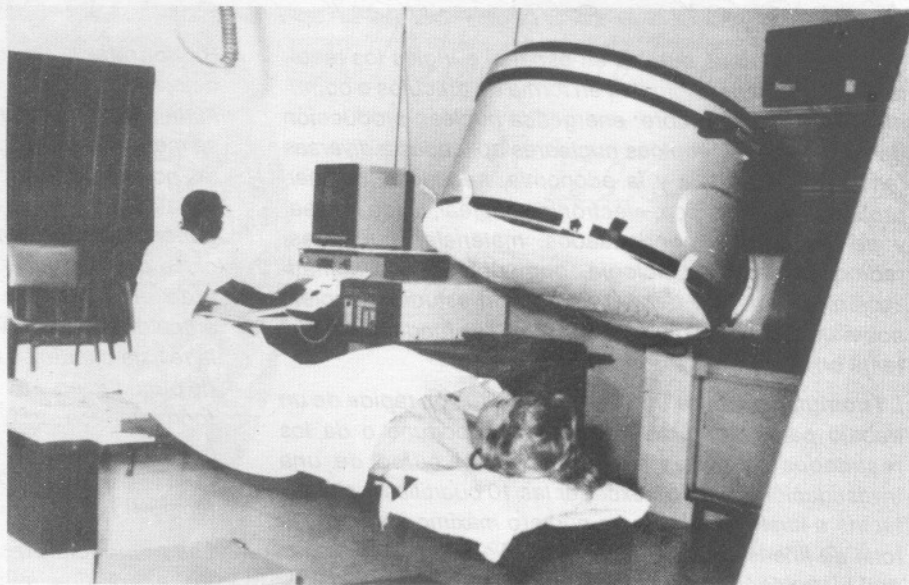
Su ventaja principal es el uso de la IBM estándar que abarata el producto y, por su lenguaje, lo hace accesible a cualquier usuario. Esto constituye una revolución en el uso de la gammagrafía en países en vías de desarrollo, ya que pueden tener acceso a una tecnología

Muchos países del Tercer Mundo poseen cámaras gamma producidas 20 años atrás, o incluso surgidas en los años 80 cuyos software son obsoletos o simplemente no existe personal calificado para mejorarlos. El imagama permite aprovechar esa cámara vieja y con la compra de una computadora a un precio muy inferior realizar los mismos estudios que las cámaras de última producción.

de punta utilizando cámaras gamma menos modernas (de hasta 20 años de trabajo) y mucho más baratas.

El imagama del INOR fue validado por especialistas de Canadá, Francia, Argentina y Brasil, y se encuentra en fase comercial.

También, pero en validación, se encuentra una sonda multiparamétrica totalmente cubana a un costo menor que 100 mil dólares, fabricada en



Con la gammagrafía los cubanos tienen acceso a las más novedosas técnicas de diagnóstico médico.

colaboración con el Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear.

La sonda, aunque no ofrece imágenes, es un equipo muy útil en el diagnóstico de enfermedades digestivas, hepáticas y cardíacas en países del Tercer Mundo.

El INOR comenzó a trabajar en la producción de algunos radiofármacos, fundamentalmente para el consumo propio. Así, logró sintetizar nuevos compuestos para el diagnóstico y tratamiento de tumores del colon y del cáncer.

Para los estudios de radioinmunoanálisis, realizados *in vitro* a una muestra clínica, produce el antígeno carcinoembrionario y la tiroglobulina.

La atención médica no queda relegada. En el INOR se atienden anualmente casi 20 mil pacientes de todo el país. Esa labor se completa con la docencia y la investigación.

En Cuba la medicina nuclear no está reconocida oficialmente como especialidad; sin embargo, el país cuenta con 21 servicios o departamentos de la especialidad. Existe un sistema organizado en cursos de pre y posgrado que garantizan la óptima preparación de los especialistas.

Tanto el INOR como otras instituciones ofrecen cursos nacionales de corta duración a profesionales médicos y no médicos en materias como radiofarmacia, radioinmunoanálisis, computación aplicada a la medicina nuclear, física radiológica y electrónica nuclear.

También se emplea con frecuencia el entrenamiento en servicio o en el terreno, que consiste en la docencia recibida por un profesional o técnico durante el propio trabajo, en un período más o menos largo y se realiza en un servicio de medicina nuclear de mayor categoría docente.

El prestigio alcanzado por la medicina nuclear cubana hizo que el OIEA convocara al primer curso regional de centelleografía médica en 1988. Los resultados de aquel propiciaron la celebración de otros dos, en 1990 y 1993, respectivamente, donde han participado especialistas de Iberoamérica.

Para el doctor René Cárdenas Valdés los resultados de la medicina nuclear cubana no pueden explicarse solo por el número de especialistas y equipos o instalaciones disponibles, sino porque están respaldados por una base médica sólida, reconocida más allá de las fronteras de la isla.

Recomendaciones a los autores

La revista *Nucleus* publica en español e inglés los resultados de trabajos originales en forma de artículos o comunicaciones cortas sobre: *energética nuclear, producción de radisótopos y técnicas nucleares aplicadas a diversas ramas de la ciencia y la economía, seguridad nuclear, protección radiológica, electrónica nuclear, física nuclear y de los medios condensados, materiales nucleares, radioquímica, radiobiología, computación y automatización.* Un **artículo** debe presentar un estudio completo sobre un asunto de importancia e interés fundamental del tema en cuestión.

La **comunicación** es una vía para la difusión rápida de un trabajo particularmente importante y oportuno o de los resultados parciales obtenidos en el curso de una investigación. No debe exceder las 10 cuartillas incluidas tablas e ilustraciones, cuyo número máximo será dos. El total de líneas por página no será superior a 30, escritas con 60 golpes de máquina.

Artículos

La extensión de los artículos no excederá las 25 cuartillas incluidas tablas e ilustraciones. El total de líneas por página será 30 como máximo, escritas a 60 golpes de máquina.

Los artículos comprenden, en el siguiente orden: el resumen (en inglés y en español), la introducción, el texto principal (materiales y métodos, resultados, discusión), las conclusiones y recomendaciones y la bibliografía. Estas secciones deben estar bien definidas, aunque no necesariamente con subtítulos.

Título: El título debe ser conciso, sin dejar de ser informativo. Un máximo de 100 letras (ó 15 palabras) es razonable. Debe concordar plenamente con el objeto fundamental y el alcance del trabajo. El título no debe contener, por lo general, abreviaturas, fórmulas químicas, nombres patentados (en lugar de genéricos), etc. No complemente el título con un subtítulo, si no es para acortar el enunciado total. El título se escribirá en español e inglés.

Resumen: El resumen no debe exceder de 250 palabras (o del 4-6% de la extensión total del trabajo) y ha de orientarse a definir claramente lo que el artículo trata. Debe exponer los objetivos principales y el alcance de la investigación, el método utilizado y los principales datos y conclusiones. El resumen no debe contener siglas, abreviaturas ni referencias bibliográficas.

Introducción: Debe explicar con términos precisos el objeto, alcance y propósito y exponer las razones que determinaron la ejecución del estudio en cuestión, así como su relación con trabajos previos dentro del tema.

Conclusiones: Deben indicar la importancia que reviste el estudio de que se trata y poner en claro su contribución o aportes.

Bibliografía: Las referencias bibliográficas deben ser cotejadas contra la publicación original. Se citarán (con números arábigos entre corchetes, según el orden en que se mencionan en el artículo) al final del trabajo. Los reportes no aprobados para publicar, las comunicaciones personales, tesis, las referencias a datos no publicados no deben incluirse en la bibliografía. Si una referencia de esta clase parece absolutamente esencial, podrá añadirse al texto entre paréntesis. El autor debe verificar que los artículos "en prensa" han sido aceptados para publicar en la revista citada y dar el número, la página inicial y el año de publicación. Las referencias en el texto deben hacerse (con números arábigos entre corchetes) en el lugar de la frase en que se apliquen. Para abreviar los nombres de las publicaciones periódicas se seguirá la práctica del Sistema INIS (véase IAEA-INIS-11).

Las **nomenclaturas, abreviaturas y símbolos** deben ser los aceptados internacionalmente. Las abreviaturas y siglas deben definirse la primera vez que se mencionan. Los símbolos y caracteres griegos deben definirse claramente. Los subíndices y supraíndices deben ser legibles y estar correctamente colocados o indicados.

Tablas: Las tablas deben presentar en forma concisa y ordenada la información que **no** puede presentarse por otros medios con la misma eficacia. Empléelas exclusivamente cuando sean necesarias. Las aclaraciones y notas al pie de la tabla deben ser breves. Las tablas no deben tener líneas verticales y horizontales superfluas. El título de la tabla debe ser conciso y no estar dividido en dos o más oraciones. Los datos se organizarán de forma que sus elementos se lean de arriba abajo y no transversalmente.

Ilustraciones: Numere las ilustraciones (consecutivamente) en el orden en que se mencionan en el texto. Los términos, las abreviaturas y los símbolos utilizados en las figuras deben ser los mismos que aparecen en el texto. No utilice caracteres imprecisos que puedan perder nitidez en el proceso de impresión, ni símbolos poco frecuentes (utilice preferiblemente círculos, cuadrados o triángulos en blanco o rellenos). Los símbolos y caracteres muy complejos deben incorporarse en una leyenda concisa.

Correspondencia

La revista recibirá con agrado las cartas que los lectores remitan. Esperamos que nos envíen informaciones y análisis de interés científico, comentarios o sugerencias sobre artículos publicados en la revista, opiniones sobre nuestras secciones que a su juicio puedan servir para orientar la selección de los temas y el planteamiento de las secciones en función de sus intereses, inquietudes y críticas.

El Consejo Editorial quedará agradecido de cualquier sugerencia que se envíe.

La correspondencia debe dirigirse a: Centro de Información de la Energía Nuclear Calle 20 No. 4113 esq. 47, Playa. Apartado Postal 6093 - La Habana 6.