

## 4034SIMULACION CON METODO MONTE CARLO DE SONIDAS NEUTRONICAS PARA PERFILAJE PETROLERO

Azcurrea, M.<sup>1</sup>, Zamonsky, O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DiFRA, Departamento de Ingeniería Nuclear, Centro Atómico Bariloche. Av. Ezequiel Bustillo 9500, San Carlos de Bariloche, Rio Negro, Argentina. TE: 0054-2944-445189  
Email: [azcurram@ib.cnea.gov.ar](mailto:azcurram@ib.cnea.gov.ar)

<sup>2</sup> DiFRA, Departamento de Ingeniería Nuclear, Centro Atómico Bariloche. Av. Ezequiel Bustillo 9500, San Carlos de Bariloche, Rio Negro, Argentina. TE: 0054-2944-445189  
Email: [zamonsky@cab.cnea.gov.ar](mailto:zamonsky@cab.cnea.gov.ar)

**Keywords:** MCNP, scattering inelástico, gammas “prompt”, relación C/O, transporte

En el presente trabajo se presentan los resultados de simulaciones con el programa Monte Carlo N-Particle Transport Code System, Versión 4.B, de transporte de fotones y neutrones (1). Se pretende continuar con la modelación de herramientas neutrónicas tal como las utilizadas en perfilajes de pozos petroleros o “neutron logging”, las que consisten en irradiar las paredes del pozo con neutrones rápidos provenientes de fuentes pulsadas de 14 MeV principalmente (2). Una de las aplicaciones de estas herramientas consiste en detectar los gammas “prompt” o instantáneos producto de diferentes interacciones de neutrones con los átomos de la formación, por lo que este es proceso simulado y observado en el presente trabajo.

La herramienta RST (Reservoir Saturation Tool), existente comercialmente, utiliza una fuente pulsada de neutrones de 14 MeV y 10 kHz de frecuencia de pulso, contando con la ventaja de permitir discriminar diferentes procesos que ocurren durante y fuera del pulso de neutrones, tal como el scattering inelástico durante el pulso y la captura térmica durante y fuera del mismo (3). En particular resulta de interés la detección de gammas instantáneos de 4.439 MeV, correspondientes al 1er nivel excitado del <sup>12</sup>C, y fotones de 6.129 MeV, correspondientes al 2do nivel excitado del <sup>16</sup>O producto de scattering inelástico de neutrones rápidos (4) (5); es preciso discriminar este proceso de otras interacciones de neutrones a los fines de determinar la relación entre átomos de C y O en la formación geológica. La relación de picos entre ambos picos del espectro será directamente proporcional a la relación C/O presente en la formación, la cual es utilizada como indicador de saturación en hidrocarburos, ya que mayor contenido de carbono y menor contenido de oxígeno es indicativo de mayor proporción de petróleo respecto de agua saturando los poros de la roca (6).

En las simulaciones llevadas a cabo se modelaron formaciones calizas puras (CaCO<sub>3</sub>) con 15% de porosidad absoluta y saturadas en diferentes proporciones de agua y petróleo. Se definieron “tallies” o contadores de fotones y neutrones tanto en la posición de un detector idealizado como en diferentes celdas del sistema, a los fines de evaluar procesos como moderación de neutrones y transporte de fotones. En principio se pretende establecer si, utilizando una fuente continua de AmBe, es posible determinar la relación C/O sin interferencias en los picos del espectro obtenido, comparando en etapas siguientes estos resultados con los obtenidos utilizando fuentes pulsadas de 14 MeV.

Se simuló un pozo cilíndrico de 4.5’’ de diámetro y 5.05 mts de longitud, con una sonda en su interior de 2.5’’ de diámetro conteniendo una fuente puntual de neutrones en el origen de coordenadas y un detector cilíndrico de 2’’ de diámetro y 2’’ de altura, colocado a una distancia de 5’’ por encima de la fuente. El pozo posee un entubado de acero de 0.3’’ de espesor y un revestimiento de hormigón de 1’’ de espesor.

La profundidad de alcance dentro de la formación geológica es de 10'' a partir del revestimiento de hormigón.

En los espectros de fotones obtenidos entre 0.5 y 8 MeV para la roca caliza saturada en agua, petróleo y agua más petróleo, se comprueba la aparición en el espectro de gammas prompt provenientes de scattering inelástico o captura térmica de elementos constituyentes del sistema (Fig.1), a la vez que se observa una variación coherente en los picos correspondientes a gammas de desexcitación del primer nivel inelástico del C y segundo nivel inelástico del O.

Utilizando intervalos de energía adecuados, se comprueba que no hay interferencia de otros elementos del sistema simulado en las energías de interés correspondientes al C y al O (Fig.2). Se observa así mismo un mayor conteo de gammas de 4.439 MeV con el aumento de la saturación en petróleo de la formación geológica simulada, por lo que la relación C/O en el espectro gamma resulta consistente como indicador de saturación en hidrocarburos.

A los fines de discretizar mejor los procesos físicos que ocurren durante la interacción de neutrones y fotones con la formación geológica, tales como absorción y transporte de fotones, moderación de neutrones y variaciones en el flujo neutrónico en función de la distancia a la fuente, se realizaron simulaciones adicionales con código MonteCarlo. Se verifica que el espectro de neutrones de la fuente sufre modificaciones en la formación, vinculadas a procesos de moderación de neutrones principalmente con elementos de peso atómico intermedio, tales como Ca, Si, C y Fe (Fig.3). Así mismo se observa que el espectro obtenido colocando un "tally" en la propia roca caliza es diferente respecto del espectro de fotones obtenido definiendo un "tally" en la posición del detector (Fig. 4), por lo que se concluye que el transporte de fotones es un proceso a tener en cuenta, de manera que se plantea la necesidad de calibración del instrumento con materiales de composiciones conocidas si es que se pretende determinar cuantitativamente diferentes relaciones de átomos a partir del conteo de gammas.

Se define de esta manera un primer paso en la simulación de este tipo de herramientas, observando en principio la factibilidad de utilizar fuentes continuas a los fines de obtener un perfilaje C/O, ya que en principio sería posible reconocer en el espectro gamma obtenido los diferentes elementos constituyentes del sistema. El uso de una fuente de neutrones pulsada permitirá discriminar procesos tales como el scattering inelástico y la captura térmica, a partir de utilizar ventanas temporales de detección, por lo que se plantea futuras simulaciones de detalle de este tipo de fuentes. Así mismo se plantea para etapas posteriores la simulación de detectores de NaI(Tl) o BGO tal como los utilizados en este tipo de herramientas, la utilización de litologías de diferentes composición respecto de rocas calizas puras, y la verificación de la intensidad de fuente de AmBe necesaria para lograr una detección de fotones estadísticamente significativa.

## Referencias:

- (1). MCNP Version 4.B, *Monte Carlo N-Particle Transport Code System*. RSIC Code Package CCC-200.
- (2). ZAMONSKY, O., BLAUMANN, H., 2001. *Estimación de la performance de una sonda de perfilaje con fuente de AmBe para la detección de C/O*. División Física de Reactores Avanzados, Departamento de Ingeniería Nuclear, Centro Atómico Bariloche. Análisis previo a propuesta de FONTAR. Inédito.

- (3). BRAVO, J. B., 2001. *Apuntes Seminario Evaluación de Formaciones*. CAB. San Carlos de Bariloche, Rio Negro, Argentina. 14/15 noviembre 2001.
- (4). BROWNE, E., DAIKIRI, J., DOEBLER, R., 1978. *Table of Isotopes, Seventh Edition*. Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Berkeley. Leader, M. and Shirley, V. (Eds.); 1523 p.
- (5). IAEA, 1993. *Handbook on Nuclear Data for Borehole logging and Mineral Analysis*. Technical Reports Series N° 357. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1993.
- (6). JIUNN-IISING CHAO, 1995. *In situ applications*. Prompt Gamma Neutron Activation Análisis. Alfassi, Z. and Chien Chung (Eds.). 8: 131-157.

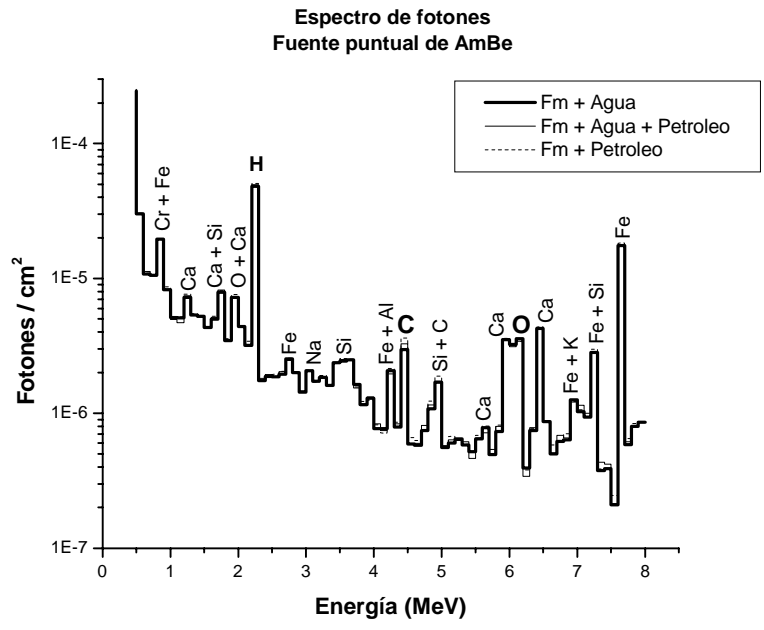


Figura 1. Espectro de gammas “prompt” obtenido de simular una roca caliza irradiada con neutrones provenientes de una fuente puntual tipo AmBe, con diferentes proporciones de agua y petróleo.

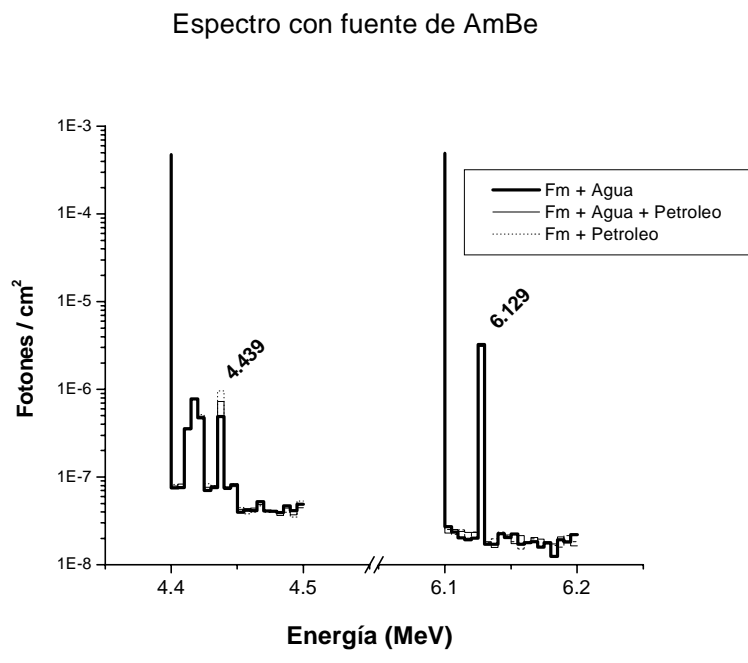


Figura 2. Detección de fotones entre 4 y 4.5 MeV, y entre 6.1 y 6.2 MeV obtenidas de simular una roca caliza saturada en agua, petróleo o agua y petróleo e irradiada con fuente de AmBe; se observa un mayor contejo gamma en el pico del C con el aumento en el contenido de petróleo.

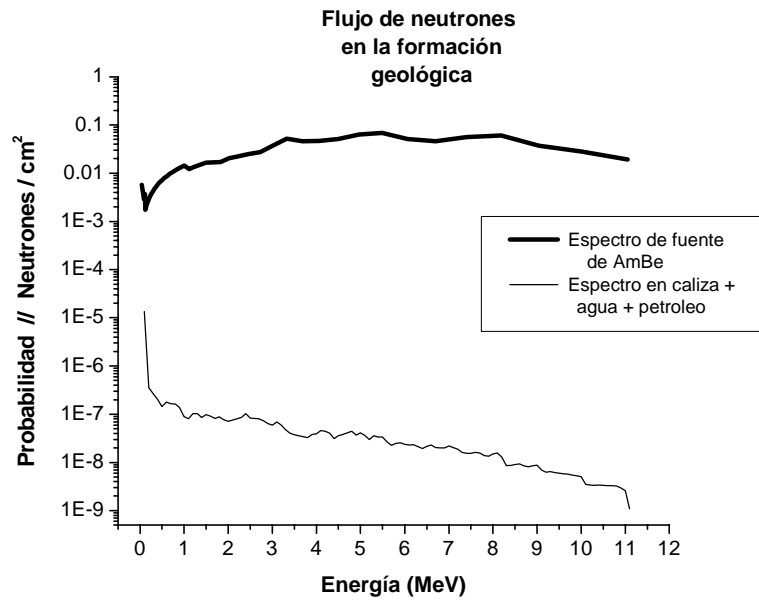


Figura 3. Espectro de neutrones emitidos por la fuente de AmBe comparado con el espectro obtenido de simular un “tally” en la formación geológica; se observa que la moderación de neutrones con elementos de peso atómico intermedio es un proceso dominante.

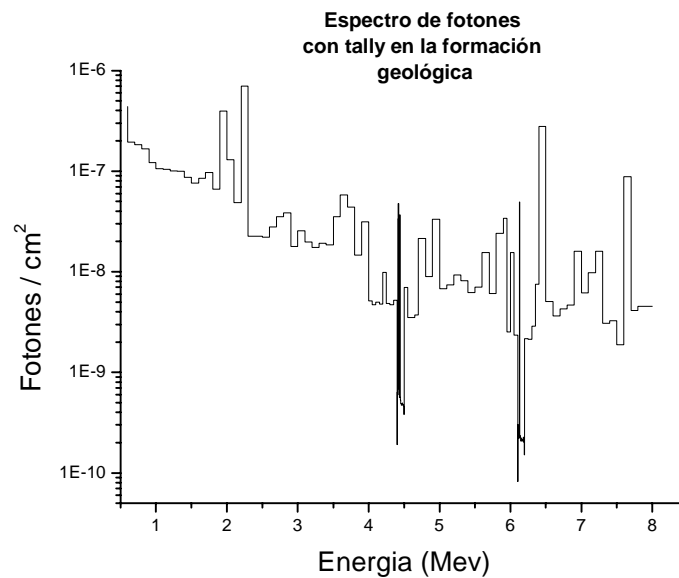


Figura 4. Espectro de fotones obtenido de simular un “tally” en la formación geológica saturada en agua y petróleo; se observan diferencias respecto del espectro de la Figura 1, obtenido colocando un “tally” en la posición del detector.