

El programa de datos nucleares del OIEA: Su importancia para la ciencia y la tecnología nucleares y servicios que presta a los países en desarrollo

por J.J. Schmidt y A. Lorenz

INTRODUCCION

Los datos relativos a física nuclear o — más brevemente — los “datos nucleares” recogen todos los resultados cuantitativos de las investigaciones en la física nuclear y comprenden las esferas de la reacción nuclear, la estructura nuclear y la desintegración nuclear. Los datos nucleares se utilizan ampliamente en todas las ramas de la ciencia y la tecnología nucleares, desempeñando entre ellos un papel destacado los datos neutrónicos y los datos de desintegración radiactiva. La importancia fundamental de los datos nucleares para el desarrollo de la ciencia y la tecnología nucleares puede ilustrarse con algunos ejemplos escogidos. La fisión inducida por neutrones, mediante la cual se produce la energía en los reactores de fisión nuclear, se cuantifica en términos de datos nucleares que dependen de la energía neutrónica. La reacción por fusión entre deuterones y tritones, en que se funda el diseño actual de los reactores de fusión, se expresa en términos de datos nucleares. Los estados de desintegración de los nucleidos del producto de la fisión y los isótopos actínidos determinan la energía e intensidad de las radiaciones alfa, beta y gamma, que son magnitudes básicas para la gestión de desechos nucleares, el blindaje de las instalaciones de generación nucleoelectrica y la contabilidad y salvaguardia de materiales nucleares fisiónables.

SECCION DE DATOS NUCLEARES DEL OIEA

Las amplias necesidades de datos nucleares para el desarrollo de la ciencia y la tecnología nucleares, coincidiendo con la producción de grandes números de tales datos en los experimentos de física nuclear en todo el mundo, han hecho necesaria la cooperación internacional para la compilación, intercambio y distribución a nivel internacional de los datos nucleares. En una de las primeras etapas de esta labor en 1964, el OIEA reconoció la necesidad de un intercambio internacional de datos neutrónicos y estableció un programa de

J.J. Schmidt es Jefe de la Sección de Datos Nucleares de la División de Investigaciones y Laboratorios del OIEA y A. Lorenz es Jefe Adjunto de la Sección.

datos nucleares, el cual constituyó la base del centro internacional de datos nucleares cuyo funcionamiento corre hoy a cargo de la Sección de Datos Nucleares del OIEA[SDN/OIEA].

La SDN (OIEA) ha estado siempre en una posición única por su relación con todos los aspectos de la ciencia y la tecnología nucleares. Aunque en un principio se concibió principalmente para suministrar los datos nucleares necesarios para el desarrollo de los reactores térmicos y los reactores rápidos de fisión, el programa de datos nucleares del OIEA, reflejando el crecimiento e importancia de los programas nucleares tanto nacionales como internacionales, ha ampliado su labor durante los últimos años para abarcar el entero ámbito nuclear. Hoy día, además de los datos nucleares neutrónicos necesarios principalmente para el desarrollo de la energía nucleoelectrica, el programa de la SDN (OIEA) comprende los datos relativos a las reacciones nucleares y a la estructura y la desintegración nucleares, informaciones necesarias para el constante desarrollo de métodos y técnicas nucleares perfeccionados, así como los datos atómicos y moleculares necesarios en el campo de la física del plasma y de la tecnología de la fusión. Otro aspecto sumamente importante es que, en los últimos años, la SDN (OIEA) ha aumentado grandemente sus servicios de datos nucleares y su apoyo a la investigación en la esfera nuclear en los países en desarrollo a fin de satisfacer las recientes necesidades resultantes del mayor interés de éstos en la energía nucleoelectrica y otras aplicaciones nucleares. En resumen, hoy día se reconoce que la SDN (OIEA) es el centro de datos nucleares que coordina a escala internacional parte del desarrollo, compilación, intercambio y distribución de datos nucleares exactos y que se ocupa de la transferencia de datos nucleares, principalmente de los países desarrollados a los países en desarrollo, así como de los intercambios de datos nucleares entre los Estados Miembros del OIEA occidentales y orientales.

COMITE INTERNACIONAL DE DATOS NUCLEARES

El programa de datos nucleares del Organismo tiene su propio órgano asesor: el Comité Internacional de Datos Nucleares (CIDN). Este Comité se ocupa de que la SDN (OIEA) se oriente en su programa y actividades por las necesidades de los programas nucleares de los principales Estados Miembros nucleares (desarrollados y en desarrollo) del Organismo.

El OIEA creó el CIDN en 1967 con carácter de comité permanente del OIEA y con la explícita finalidad de servir al fomento de la cooperación internacional en todas las fases de las actividades relacionadas con los datos nucleares de utilidad general para los programas de energía nucleoelectrica y otras aplicaciones pacíficas de la ciencia y la tecnología nucleares, y de prestar asesoramiento al Director General del OIEA en materia de datos nucleares. Este Comité, actualmente limitado a trece miembros, está compuesto por destacados científicos nucleares de los Estados Miembros del OIEA que desarrollan actividades importantes en la esfera nuclear. En los países no representados en el CIDN se han nombrado cuarenta oficiales de enlace que se ocupan de la comunicación directa entre los científicos de esos países y el CIDN, por conducto de la SDN (OIEA). Las funciones de secretaría del CIDN las desempeña la SDN (OIEA) bajo la dirección de su jefe, que actúa al mismo tiempo como secretario científico del CIDN. El Comité se reúne cada dieciocho meses aproximadamente.

Además de las funciones de asesoramiento que desempeña con respecto al programa de datos nucleares del OIEA, el CIDN, al fomentar la cooperación internacional en las actividades relacionadas con los datos nucleares, trabaja estrechamente con la SDN (OIEA) en la coordinación de una serie de actividades de repercusión internacional relativas a los datos nucleares. Las responsabilidades del Comité en lo tocante a la evaluación de las necesidades y disponibilidades de datos nucleares, la coordinación de su medición, cómputo, acopio, intercambio y difusión se reflejan en numerosas funciones de la SDN (OIEA).

COOPERACION INTERNACIONAL DE LOS CENTROS DE DATOS

En 1970, bajo los auspicios de la SDN (OIEA), cuatro centros regionales de datos neutrónicos aceptaron compartir sus actividades sobre una base geográfica e iniciar el intercambio de datos nucleares neutrónicos experimentales según un formato común para intercambios que pudiera ser computadorizado denominado EXFOR. Estos centros de datos eran los siguientes:

- el Centro de Compilación de Datos Neutrónicos de la Agencia para la Energía Nuclear (AEN) de la OCDE (que hoy día forma parte del Banco de Datos de la AEN), situado en Saclay (Francia), el cual facilita principalmente servicios a los países desarrollados de Europa Occidental y al Japón;
- el Centro Nacional de Perfiles Neutrónicos (hoy día Centro Nacional de Datos Nucleares), situado en el Laboratorio Nacional de Brookhaven (Estados Unidos de América), que facilita servicios a los Estados Unidos y al Canadá;
- el Centro de Datos Nucleares de la URSS, situado en el Instituto de Física y Energética de Obninsk (URSS), que facilita servicios a la URSS; y
- la Sección de Datos Nucleares del OIEA, situada en Viena (Austria), que facilita servicios principalmente a los países en desarrollo de Asia (excepto el Japón), África, América Central y del Sur, Europa Oriental, y Australia y Nueva Zelanda.

Cada uno de los cuatro centros de datos nucleares compila todos los datos neutrónicos experimentales de su zona de servicio, distribuye dichos datos a los demás centros según un formato convenido y responde a las peticiones de datos neutrónicos de los usuarios en su zona de servicios. Todas las operaciones están plenamente computadorizadas. El intercambio de datos garantiza que todo usuario, en el mundo entero, tenga acceso a la masa total de datos neutrónicos experimentales.

Se ha tardado más en llevar a la práctica un objetivo similar para organizar el libre intercambio y distribución de datos neutrónicos evaluados por conducto de la red de los "cuatro centros". Sin embargo, hoy día la mayor parte de los ficheros de datos neutrónicos evaluados existentes son asequibles sin restricciones. La SDN (OIEA) convoca todos los años reuniones de los cuatro centros de datos neutrónicos a fin de coordinar la compilación, intercambio y difusión internacionales de datos nucleares neutrónicos.

Debido a la importancia continuamente creciente de las técnicas nucleares y de las aplicaciones de los isótopos, se han creado últimamente nuevas redes de centros de datos sobre las reacciones nucleares de partículas cargadas y de datos de estructura y desintegración nucleares a fin de realizar el acopio eficaz de dichos datos y su distribución a los usuarios.

BIBLIOTECAS COMPUTADORIZADAS DE DATOS NUCLEARES Y PUBLICACIONES DE LA SDN (OIEA)

Como resultado de la cooperación entre los centros de datos, la SDN (OIEA) ha recogido la mayor parte de los datos nucleares obtenidos en todo el mundo. Aparte de la biblioteca del EXFOR de datos experimentales neutrónicos y otros datos relativos a las reacciones nucleares, que actualmente comprende 2,6 millones de registros numéricos de datos, la SDN (OIEA) mantiene hoy día unas 40 colecciones distintas de datos nucleares evaluados y de sus actualizaciones periódicas, que comprenden desde grandes ficheros extensos de finalidad general a ficheros más pequeños para aplicaciones especiales. Esas colecciones comprenden 1,8 millones de registros de datos numéricos; en el cuadro siguiente figura su

Colecciones de datos nucleares computadorizados mantenidas por la SDN (OIEA)

A. Colección de datos experimentales sobre reacción nuclear		Número de registros numéricos de datos
Biblioteca EXFOR		2 600 000
B. Colecciones de datos nucleares evaluados		
1. Perfiles patrones		15 000
2. Archivos de perfiles neutrónicos para utilización general		700 000
3. Datos de rendimiento, perfiles y desintegración de isótopos de los productos de fisión		500 000
4. Datos nucleares para la dosimetría neutrónica de los reactores		40 000
5. Datos nucleares para las estimaciones de los daños radiológicos		7 000
6. Datos de perfiles neutrónicos y desintegración nuclear de los actínidos		50 000
7. Datos específicos de perfiles neutrónicos de grupos múltiples		40 000
8. Parámetros de resonancia neutrónica		100 000
9. Datos de estructura y desintegración nucleares		350 000
10. Masas atómicas		2 000
		1 800 000
Total (A + B)		4 400 000

composición. Dentro de la SDN (OIEA), un pequeño grupo de programación desarrolla y mantiene los sistemas de programas necesarios para la manipulación computadorizada de esas colecciones y ejecuta operaciones afines de entrada/salida de datos.

La SDN (OIEA) distribuye, a petición, grandes números de datos nucleares de estas colecciones en diversos formatos, desde limitadas noticias para tipos específicos de datos hasta ficheros completos de datos registrados en cinta magnética, así como la información documental y descriptiva correspondiente, como catálogos, descripciones de formatos y contenidos de colecciones de datos, etc. A fin de dar publicidad a sus servicios y actualizaciones o nuevas adiciones a sus ficheros de datos, la Sección envía algunas veces al año una "Nuclear Data Newsletter", o boletín informativo sobre datos nucleares, a todos los usuarios de su zona de servicios.

Quizá la publicación más conocida, resultado del esfuerzo de cooperación de los centros, es el índice de referencias sobre datos neutrónicos microscópicos, CINDA, publicado anualmente por el OIEA en nombre de estos centros de datos. El CINDA es el resultado de una exploración sistemática de la literatura sobre física neutrónica publicada en todo el mundo; representa un manual extenso y actualizado de todas las referencias sobre la medición, cálculo y evaluación de datos neutrónicos, que ha llegado a convertirse en instrumento indispensable para los científicos e ingenieros nucleares. La compilación del CINDA está plenamente computadorizada; cuatro centros de datos neutrónicos la mantienen al día y sirve también de índice de la colección internacional EXFOR de datos neutrónicos experimentales; el Banco de Datos de la AEN mantiene el fichero general del CINDA.

La Sección publica tres series de informes: "Progress in Fission Product Nuclear Data", publicación anual con información sobre las actividades en el campo de mediciones, compilaciones y evaluaciones de datos nucleares de los productos de fisión, "Compilations and Evaluations of Nuclear Structure and Decay Data", publicación bienal con información sobre la disponibilidad de compilaciones publicadas de datos sobre estructura y desintegración nucleares, y la "World Request List for Nuclear Data", WRENDA, generalmente bienal, que reseña las necesidades de 15 a 20 Estados Miembros del OIEA con respecto a datos nucleares perfeccionados para reactores de fisión y de fusión y para las salvaguardias de materiales nucleares.

En sus funciones de secretaría del CIDN, la SDN (OIEA) coordina el registro y distribución de documentos del CIDN, que consisten principalmente en informes técnicos sobre cuestiones relativas a datos nucleares procedentes de los Estados Miembros. Al mismo tiempo, la SDN (OIEA) utiliza la serie de informes del CIDN como medio de publicación de sus propios informes. La SDN (OIEA) patrocina también la traducción en inglés de determinados informes y publicaciones de la URSS sobre datos nucleares y los distribuye en todo el mundo. Las actas de las reuniones convocadas por la SDN (OIEA) se publican generalmente como informes técnicos del OIEA en la colección IAEA-TECDOC.

En algunas ocasiones, cuando existe una amplia necesidad de una gran variedad de pequeños juegos de datos, el medio más útil de difusión de datos es un manual. Este fue el caso del manual sobre perfiles de activación nuclear que compiló y publicó la SDN (OIEA) en 1974 (Ref. [1]), para satisfacer las necesidades de datos nucleares para las múltiples aplicaciones de las técnicas del análisis por activación nuclear.

SERVICIOS A LOS PAISES EN DESARROLLO

La Sección de Datos Nucleares del Organismo actúa como punto central para la transferencia de datos nucleares e informaciones y conocimientos técnicos afines de los países desarrollados a los países en desarrollo interesados en la esfera nuclear. Esta función entraña las siguientes actividades y obligaciones:

- difundir datos nucleares fiables e informaciones afines, cuando se le pida, acompañada de directrices para su utilización apropiada;
- compilar datos nucleares producidos en los países en desarrollo y su difusión internacional por conducto de las redes de centros de datos nucleares;
- estimular la creación de comités y centros de datos nucleares en grandes países en desarrollo (por ejemplo, Argentina, Brasil, India, Rumania);
- capacitar científicos nucleares becarios del Organismo procedentes de países en desarrollo en la formación y utilización de colecciones computadorizadas de datos nucleares (por ejemplo Brasil, Rumania);

- estimular y apoyar las actividades de medición y evaluación de los datos nucleares requeridos mediante contratos de investigación, y suministrar los materiales e isótopos de gran pureza que se precisan para dichas mediciones. Hasta la fecha se ha prestado esta ayuda a laboratorios de investigación de Argentina, Bangladesh, Brasil, Egipto, Grecia, Hungría, India, Pakistán, Polonia, Rumania, Turquía y Yugoslavia;
- organizar cursos bienales de capacitación, en cooperación con el Centro Internacional de Física Teórica de Trieste, destinados a científicos de 25 a 30 países en desarrollo, sobre la utilización de la teoría nuclear para los cálculos de datos nucleares y sobre métodos para la evaluación y tratamiento computadorizado de datos nucleares (Refs.[2,3]).

En resumen, hoy día la SDN (OIEA) presta servicios gratuitos de centro de datos a científicos de unos 40 Estados Miembros del OIEA, principalmente países en desarrollo. Mediante estos servicios, la SDN (OIEA) ha llegado a tener un conocimiento actualizado de las necesidades de datos nucleares para la ciencia y tecnología en todas partes del mundo.

NECESIDADES DE DATOS NUCLEARES PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA NUCLEARES

Hablando en términos generales, para todas las aplicaciones de la ciencia y la tecnología de las reacciones nucleares, las radiaciones y los isótopos, se precisa un conocimiento exacto de los datos nucleares. Por lo tanto, los datos nucleares revisten gran importancia para muchos programas nucleares del Organismo y de sus Estados Miembros. En las secciones que siguen se resumen muy brevemente estas necesidades en determinados campos.

Diseño de reactores de fisión

Las necesidades más amplias y agudas de datos nucleares exactos, especialmente de perfiles neutrónicos, se dejan sentir en el diseño de los reactores de fisión. Los parámetros de los reactores, tales como el factor K_{eff} de multiplicación eficaz, masa crítica, enriquecimiento del combustible, potencia crítica del reactor, flujo neutrónico, proporción de reproducción, coeficientes de seguridad, características cinéticas y dinámicas, se calculan a partir de ecuaciones matemáticas en que las cantidades básicas son los perfiles neutrónicos y los datos nucleares.

La contestación a la pregunta sobre qué datos nucleares se necesitan para los reactores de fisión y con qué prioridad depende de la composición material y del espectro de energía neutrónica de un reactor dado. Hablando en términos generales, los perfiles neutrónicos son necesarios para todos los materiales de reactores en la gama completa de energías que abarca el espectro de energías neutrónicas del reactor.

Las tasas de reacción de un reactor térmico se sitúan entre 0,01 y 1 eV; los neutrones de los reactores rápidos se extienden en una gama de energía mucho mayor — desde eV energías hasta 10 MeV aproximadamente — especialmente entre keV y varios MeV.

Por lo tanto, en un reactor térmico, es necesario conocer los perfiles de fisión, captura y distribución elástica, especialmente en la pequeña gama de energías entre 0 y 1 eV, así como las propiedades de las primeras resonancias de los materiales fértiles y fisionables, conocimiento que es imprescindible para la determinación de las características físicas del reactor.

En los reactores rápidos, además de la fisión, hay que conocer la captura y distribución elástica, parámetros de resonancia de la gama completa de resonancia, perfiles para la

distribución inelástica, en reacciones de mayores energías (n,p) , (n,α) , $(n,2n)$, $(n,3n)$, y las distribuciones angulares y energéticas de los neutrones emitidos como función de la energía neutrónica de las energías de keV a MeV.

Para las distintas variantes de los reactores térmicos y rápidos, se necesita conocer los perfiles neutrónicos para una gran diversidad de materiales y isótopos, tales como:

isótopos fisionables	uranio-233, 235, plutonio-239, 241;
materiales fértiles	uranio-238, plutonio-240, torio-232;
materiales estructurales	hierro, cromo, níquel, circonio;
materiales de refrigeración	agua ligera, agua pesada, helio, bióxido de carbono, sodio;
materiales moderadores	agua ligera, agua pesada, berilio, carbono;
materiales de barras de control	boro, tántalo;
materiales de blindaje	hierro, plomo, bario, silicio;
combustibles	oxígeno para combustible óxido, carbono para combustible carbónico;

por no mencionar más que los materiales más importantes.

Los cálculos de las teorías más recientes relativas a los reactores, ejecutados con ayuda de computadoras, son tan refinados que permiten predicciones exactas de las características físicas de los reactores de fisión, con la condición de que se disponga de los perfiles neutrónicos correspondientes con suficiente detalle y exactitud. Pero en tanto que los datos de los perfiles neutrónicos de bajas energías necesarios para los reactores térmicos se conocen actualmente en su mayoría con suficiente precisión, los perfiles de los neutrones rápidos de los principales componentes de los reactores rápidos han de mejorarse todavía (Ref. [4]) y se están estudiando especialmente en los países con proyectos relativos a reactores reproductores rápidos.

Gestión de desechos de productos de fisión y actínidos

Más recientemente, debido al creciente desarrollo en muchos países de los programas nucleares, que comprenden desde algunos hasta numerosos reactores de potencia, plantas para la fabricación y reelaboración química de combustible, transporte de combustibles nucleares nuevos y agotados, etc., se está prestando creciente atención al problema de los productos de fisión y actínidos generados en los reactores los cuales se están acumulando progresivamente. Con excepción de algunas aplicaciones concretas, tales como el empleo de la desintegración del plutonio-238 y el curio-244 como fuente de calor en las baterías nucleares de satélites artificiales, ni los productos de fisión ni la mayor parte de los actínidos pueden utilizarse de nuevo en el reactor (excepto en el caso de la posible incineración de actínidos en reactores de finalidad especial) y han de evacuarse.

Actualmente prosiguen las investigaciones teóricas y experimentales en los Estados Miembros con respecto a los siguientes puntos:

- formación de productos de fisión y actínidos en reactores y su influencia sobre el funcionamiento del reactor;
- liberación de calor tras la parada del reactor (llamado calor residual), provocado por la desintegración alfa, beta y gama de los productos de fisión y nucleidos actínidos y por las fisiones inducidas por neutrones de fisión diferida, espontánea, y neutrones (α,n) ;

- problemas de blindaje a corto plazo de los productos de fisión y actínidos durante la manipulación, reelaboración y transporte de combustibles; y
- riesgos a largo plazo de la radiactividad de los productos de fisión y desechos de actínidos, y riesgo de criticidad de los desechos de actínidos, que representan una fuente de neutrones debido a fisiones espontáneas y reacciones (γ, n) y (α, n).

Para estas investigaciones se necesita gran número de datos exactos. La magnitud de las necesidades puede ilustrarse parcialmente por el número de isótopos correspondientes, como puede observarse en el siguiente cuadro.

Tipo de nucleido	Número total que se produce	Importantes
Productos de fisión	800	≥ 50
Actínidos	200	≥ 30

En esta selección se han utilizado como criterios los perfiles de largos semiperíodos de desintegración, grandes rendimientos y elevada captura y secciones eficaces de fisión. Los numerosos nucleidos con semiperíodos de desintegración breves solo revisten importancia a corto plazo, como los productos de fisión de breve semiperíodo de desintegración en los cálculos del calor residual, y se omiten en esta importante categoría.

En resumen, las necesidades de datos nucleares son (Ref. [4]):

- dentro del reactor:** todos los perfiles neutrónicos, especialmente los datos neutrónicos de captura, rendimientos y neutrones diferidos para los productos de fisión; todos los perfiles neutrónicos, especialmente de fisión y captura para actínidos; gama de energía de los neutrones: 0–15 MeV;
- fuera del reactor:** características de la desintegración α , β , γ , y de la fisión espontánea, semiperíodos de desintegración, energías e intensidades de las radiaciones de los productos de fisión y de los actínidos; reacciones (γ, n) y (α, n) especialmente en los materiales de bajas estricciones Z.

Continúan todavía realizandose extensos trabajos experimentales y teóricos en diversos países a fin de satisfacer estas necesidades de datos.

Salvaguardias de materiales nucleares

Hablando en términos generales, las necesidades de datos nucleares en esta esfera corresponden principalmente a las técnicas de ensayos no destructivos. Citamos dos ejemplos importantes de las necesidades actuales. Para las determinaciones exactas de la composición isotópica del combustible nuclear mediante mediciones del grado de quemado, por ejemplo, el rendimiento de cada radiación gama de keV a MeV para productos de fisión seleccionados (por ejemplo rutenio-103, cesio-134, lantano-140, cesio-144, praseodimio-144) se requieren con una precisión del 1% (Ref. [4]). Otro ejemplo es el análisis por espectrometría gama de los isótopos del plutonio en los combustibles para los que se precisa conocer el rendimiento por desintegración alfa de cada radiación gama para los isótopos plutonio-238, 239, 240, 241, de nuevo con una exactitud del 1% (Ref. [4]). Los datos experimentales de rendimiento de que se dispone distan todavía mucho de esta exactitud.

Diseño de reactores de fusión

En la investigación y desarrollo actual de los reactores de fusión, las necesidades de datos neutrónicos superan en mucho las de datos sobre partículas cargadas. Con el empleo de la reacción $T(d,n)$ el reactor de fusión es realmente una intensa fuente de neutrones de 14 MeV con flujos en la pared interior del plasma comparables en magnitud a los de los reactores de fisión de flujos elevados de neutrones. Estos neutrones penetran la capa de litio y, al desacelerar, se adoptan una distribución de energía de la cual una parte importante se sitúa entre 5 y 14 MeV. Por lo tanto, esta gama de energía adquiere el mayor interés. Puesto que estas energías neutrónicas solo revisten importancia muy limitada en el caso de los reactores reproductores rápidos, existen lagunas en una serie de perfiles de reacciones que hay que colmar actualmente (Ref. [4]). Adquieren importancia las reacciones (n,p) , (n,d) , (n,α) , (n,T) , $(n,^3\text{He})$, $(n,2n)$, así como las distribuciones angulares y de energía de las partículas secundarias emitidas. Los materiales para los que se necesitan éstos y otros datos (para los cálculos de la economía neutrónica, daños radiológicos y coeficientes de transmutación) son en su mayor parte materiales estructurales propuestos para su empleo en un reactor de fusión, tales como el titanio, vanadio, cromo, manganeso, hierro, níquel, circonio, niobio, molibdeno y tungsteno. La reacción $(n,2n)$ en los primeros materiales de la pared reviste particular interés, ya que produce una multiplicación de los neutrones disponibles para la reproducción del tritio en la capa de litio. El tritio se produce en la capa por las reacciones $^6\text{Li}(n,\alpha)T$ y $^7\text{Li}(n,n'\alpha)T$.

Actualmente se está trabajando intensamente para determinar con exactitud la dependencia de la energía neutrónica de éstas y otras muchas reacciones competidoras entre neutrones y los dos isótopos del litio en la gama de energía de neutrones MeV. La precisión actualmente necesaria para la más importante reacción de reproducción, la $^7\text{Li}(n,n'\alpha)T$, es del 5–10% aproximadamente (Ref. [4]); los datos experimentales disponibles son todavía exactos solamente en un 25% aproximadamente, lo que afecta en gran medida los resultados de las previsiones de la reproducción del tritio.

NECESIDADES DE DATOS NUCLEARES PARA LAS APLICACIONES EN LA CIENCIA NUCLEAR DE LOS ISOTOPOS Y RADIACIONES

Contrariamente a las necesidades más bien homogéneas para las aplicaciones de la energía nuclear, las necesidades en la esfera de las aplicaciones científicas nucleares son más heterogéneas y amplias; su número aumenta debido a la gran variedad de aplicaciones. Las necesidades de datos nucleares han aparecido en campos tan diversos como la dosimetría nuclear médica, diagnóstico y terapia, química nuclear, ciencias geológicas, arqueología, hidrología, investigaciones ecológicas y astrofísicas (Ref. [5]). A continuación se examinan varias de las aplicaciones más importantes y sus necesidades de datos nucleares.

Análisis por activación nuclear

En este método analítico deben conocerse los perfiles de activación nuclear para neutrones, partículas cargadas y fotones, datos sobre semiperíodos de desintegración, y las energías e intensidades de las radiaciones secundarias emitidas. Entre los numerosos ejemplos, mencionaremos uno: el proyecto del Departamento de Investigaciones e Isótopos del OIEA sobre análisis por activación neutrónica de contaminantes en el cabello humano para medir el grado de contaminación ambiental ocasionada por sustancias venenosas no radiactivas. Para este proyecto se necesitaron los valores más precisos de perfiles de

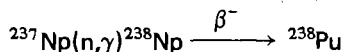
activación neutrónica, semiperíodos de desintegración y energías e intensidades de rayos gamma para todos los isótopos de los elementos siguientes: arsénico, plata, bromo, cadmio, cloro, cobre, mercurio, potasio, manganeso, sodio, antimonio, selenio y cinc.

Técnicas de trazadores

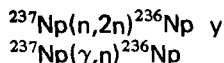
Para emplear las técnicas de trazadores es necesario conocer los semiperíodos y características de la desintegración de los radisótopos que se utilizan como trazadores. Entre los muchos ejemplos posibles, citaremos el empleo del tritio y otros radisótopos en las investigaciones hidrológicas sobre aguas de superficie y el empleo de radisótopos del yodo en el diagnóstico médico.

Producción de radisótopos

Para estimar y optimizar la tasa de producción y pureza de los radisótopos necesarios es preciso considerar todas las reacciones en que se produce este isótopo, sin perder de vista las reacciones competidoras en que se producen otros isótopos no buscados. Como ejemplo puede citarse la producción de plutonio-238 puro, que se emplea como fuente de calor para la transformación termoeléctrica en los marcapasos cardíacos (Ref. [5]). El plutonio-238 puede producirse por irradiación neutrónica del neptunio-237 en un reactor, de acuerdo con la reacción siguiente:



A la vez se producen reacciones competidoras, como:



que producen plutonio-236 mediante la desintegración β del neptunio-236. Este isótopo es un subproducto inconveniente porque emite más radiaciones gamma energéticas de mayor intensidad que el plutonio-238 cuya radiación gamma se produce la mayoría de las veces a energías inferiores a 150 keV y que puede ser fácilmente contenida por blindajes. Por tanto, es necesario optimizar la energía de la irradiación neutrónica a fin de que el plutonio-236 solo se produzca en una cantidad mínima tolerable. Para calcular las condiciones óptimas de irradiación hay que conocer las secciones eficaces de las reacciones antes mencionadas con los materiales que rodean el reactor.

Irradiaciones de partículas nucleares

En las irradiaciones nucleares hay que conocer las secciones eficaces de las interacciones de las partículas nucleares incidentes con los núcleos de la muestra a irradiar, así como las distribuciones angulares y energéticas de las partículas y radiaciones emitidas resultantes de estas interacciones.

Como ejemplo citamos una aplicación biomédica típica: la terapia del cáncer por irradiación neutrónica del tejido afectado. Se utilizan ciclotrones para producir los neutrones, en este caso mediante la reacción $(d,n)^9\text{Be}$. Es necesario conocer la sección eficaz de esta reacción así como la producción y la distribución angular y energética de los neutrones emitidos para diversos espesores del objetivo y para las energías de los deuterones

hasta unos 50 MeV. Además, se precisan las distribuciones de perfiles y partículas secundarias para todas las interacciones posibles de neutrones de 15–50 MeV, producidos en la reacción (d,n)⁹Be, con los constituyentes principales del cuerpo humano (hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno, fósforo y calcio) a fin de prever las distribuciones de las dosis de radiaciones en la parte irradiada del cuerpo. En particular, los datos neutrónicos son todavía muy escasos.

EVALUACION DE LA SITUACION Y NECESIDADES DE DATOS NUCLEARES

Como consecuencia de la demanda creciente de datos nucleares exactos por parte de la comunidad científica y técnica, se ha establecido, durante los últimos 20 años, una cooperación a escala mundial entre centros de datos nucleares, laboratorios de investigación y usuarios de datos nucleares, bajo las directrices de los comités nacionales, regionales e internacionales de datos nucleares. Esta labor de cooperación tiene por objeto determinar y evaluar críticamente las necesidades de datos nucleares e iniciar, apoyar y coordinar la producción y difusión sistemática de los datos requeridos.

WREND: LISTA MUNDIAL DE PETICIONES DE DATOS NUCLEARES

Un aspecto de esta labor de cooperación ha sido la creación de una lista mundial computadorizada de peticiones de datos nucleares llamada WREND. La SDN (OIEA) mantiene el archivo general de la WREND, lo actualiza con las entradas suministradas por 15–20 Estados Miembros del OIEA y la publica cada dos años en nombre de los cuatro centros de datos. La edición más reciente, WREND 79/80 (Ref. [4]) contiene cerca de 1 800 peticiones de mediciones y evaluaciones de datos nucleares (principalmente neutrónicos), peticiones procedentes de los usuarios de reactores de fisión, reactores de fusión y en la esfera de las salvaguardias, y que han sido revisadas críticamente y seleccionadas por los comités nacionales de datos nucleares antes de presentarlas al OIEA. El CIDN, del Organismo, y el Comité de Datos Nucleares, de la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE, revisan continuamente la situación de los patrones de referencia solicitados y de otros datos de primordial importancia.

En esta lista, figura en cada petición la información sobre el parámetro requerido de un nucleido específico, la gama de energías de interés, la exactitud y prioridad requeridas y el origen y justificación de la petición.

Una petición típica es la siguiente:

Cantidad solicitada:	3 litio 6 (n, tritón) alfa
Energía:	1 keV–3 MeV
Exactitud:	1%
Prioridad:	1
País:	Estados Unidos de América
Solicitante:	C.E. Till, Argonne National Laboratory P.B. Hemming, Departamento de Energía de los Estados Unidos de América
Observaciones:	Exactitud del 3% útil; la resolución de energía debe reproducir la verdadera configuración
Justificación:	Para uso como patrón

En el siguiente cuadro se desglosan las peticiones de la WREND A 79/80 por campos importantes de aplicación en comparación con la edición anterior, WREND A 76/77.

Campo de aplicación	WREND A 76/77	WREND A 79/80
Fisión	1194	1210
Fusión	328	449
Salvaguardias	150	121
Total	1672	1780

Para los reactores de fisión, el número de peticiones ha permanecido casi constante; aunque ha disminuido el número de peticiones de datos nucleares relativos a los productos de fisión, se ha observado un aumento en las peticiones relativas a los daños ocasionados por las radiaciones, al blindaje y a los actinidos secundarios. Solo ha habido otro cambio importante en el número de peticiones, producido en la esfera de la fusión nuclear: un aumento de más de 100 peticiones, lo que refleja el creciente interés en este campo. Sin embargo, el movimiento de peticiones ha sido bastante considerable con respecto a la edición anterior: se retiraron 465 peticiones y se modificaron 487 de la WREND A 76/77; 573 peticiones, es decir un tercio aproximadamente, son nuevas.

La lista de peticiones de la WREND A, además de señalar las lagunas concretas existentes en los datos nucleares requeridos, presenta la ventaja de procurar un índice conciso y único de las necesidades actuales de datos nucleares, y ha resultado de gran utilidad para estimular y coordinar las mediciones de datos nucleares. La SDN (OIEA) la está utilizando también como justificación para apoyar las peticiones de datos nucleares en países más pequeños y en desarrollo.

REUNIONES CIENTIFICAS

Otro medio de evaluar de forma global las necesidades actuales de datos nucleares en una esfera determinada de aplicaciones así como la medida en que se atienden dichas necesidades lo constituyen los diversos tipos de reuniones científicas. En tales ocasiones, la SDN (OIEA) reúne usuarios y productores de datos nucleares. Entre los temas que se han examinado en reuniones recientes figuran los siguientes: datos nucleares relativos a productos de fisión (Refs.[6, 7]), datos nucleares sobre isótopos transactínicos (Refs.[8, 9]), datos nucleares para la dosimetría de los reactores nucleares (Ref. [10]) y datos nucleares para la tecnología de los reactores de fusión (Ref. [11]).

Además de estas reuniones, que están especialmente concebidas para la evaluación simultánea de la situación y de las necesidades de datos, la SDN (OIEA) convoca también reuniones científicas convencionales con objeto de examinar un tema, campo o campos dados de aplicaciones de los datos nucleares. Estas reuniones van desde las grandes conferencias, como las Conferencias sobre datos neutrónicos para reactores, celebradas en 1966 y 1970 (Refs.[12, 13]) y sobre datos nucleares para la ciencia y la tecnología, en 1973 (Ref. [5]), hasta las pequeñas reuniones de consultores (Refs.[19, 20, 21], pasando por reuniones de especialistas medianamente numerosas sobre patrones de datos nucleares (Refs.[14, 15]), compilación y evaluación de datos (Refs.[16, 17]) y propiedades de las fuentes neutrónicas (Ref. [18]).

COORDINACION Y ASISTENCIA DE LA SDN (OIEA) CON RESPECTO A LAS INVESTIGACIONES SOBRE DATOS NUCLEARES

De conformidad con la obligación estatutaria del OIEA de prestar asistencia a los Estados Miembros para fomentar el empleo de la energía atómica con fines pacíficos, durante los últimos diez años la SDN (OIEA) ha financiado programas de investigación, pudiendo así asignar fondos destinados a la medición y evaluación de datos nucleares. Estas actividades se extienden desde los contratos y acuerdos de investigación independientes con grupos individuales de investigación hasta los programas coordinados de investigación en los que participan diversos laboratorios tanto de los países en desarrollo como de los desarrollados. Las recomendaciones del CIDN, las conclusiones y recomendaciones de las reuniones científicas celebradas por la SDN (OIEA) y las listas de peticiones de la WRENDIA se utilizan como antecedentes básicos para la toma de decisiones relativas a la asistencia y coordinación de estas investigaciones.

Como consecuencia de las recomendaciones de la primera reunión del Grupo Asesor del Organismo sobre datos nucleares de los isótopos transactínicos (Ref. [8]), se iniciaron en 1977 dos programas coordinados de investigación con la participación de ocho países desarrollados (Estados Unidos de América, Francia, Italia, Japón, Reino Unido, República Federal de Alemania, Suecia y URSS), tres países en desarrollo (India, Israel y Rumania) y una organización internacional (la Oficina Central para las Mediciones Nucleares de la Comisión de las Comunidades Europeas). El objetivo del primero de estos dos programas es comparar los métodos y resultados de diferentes evaluaciones de los datos nucleares sobre neutrones actínicos. Tiene el doble objeto de mejorar la exactitud de las evaluaciones de los datos de neutrones actínicos que son necesarias para los cálculos fiables de la formación y quemado de actínidos en los reactores de fisión, y de capacitar a los participantes de países en desarrollo en la evaluación de estos datos de particular interés en sus propios programas de energía nuclear. Las evaluaciones efectuadas por los participantes se recogen en la Colección de datos nucleares del OIEA relativa a los actínidos.

El segundo programa consiste en la medición y evaluación de los parámetros de desintegración (semiperíodos de desintegración, espectros alfa y gamma) de isótopos actínicos. Este programa tiene por objeto producir grupos de datos de desintegración muy exactos y coherentes para atender las necesidades del análisis de combustibles nucleares, aplicaciones de salvaguardias, determinación de masas y la preparación y aplicación de patrones de radisótopos.

DIRECTRICES FUTURAS

A medida que aumenta el interés de los países en desarrollo por la energía nuclear y las aplicaciones de la misma, es necesario aumentar la capacidad científica y técnica de estos países. Esto requiere un mayor esfuerzo para la transferencia de tecnologías y de los conocimientos técnicos necesarios para las mediciones nucleares y para la capacitación de científicos de los países en desarrollo en los métodos y técnicas nucleares. Requiere también una mejor coordinación de los trabajos aislados y dispersos de investigación que se están efectuando en muchos de estos países. Como ha señalado la última publicación de la WRENDIA, queda todavía por realizar un gran volumen de trabajo en ciertas esferas de los datos nucleares. La importante valía de las mediciones de datos nucleares para la capacitación de científicos nucleares en métodos y técnicas nucleares de amplia aplicación y la disponibilidad de servicios pertinentes de medición en una serie de países en desarrollo

constituyen indicios de una futura cooperación más extensa a escala interregional. Esta cooperación abarcaría la unificación de los grupos de investigación de países en desarrollo y desarrollados en una labor común, útil y necesaria de investigación sobre datos nucleares.

Referencias

- [1] Handbook on Nuclear Activation Cross-Sections, Colección de Informes Técnicos N° 156, STI/DOC/10/156, OIEA, Viena (1974).
- [2] Nuclear Theory for Applications (Actas del curso organizado conjuntamente por la SDN (OIEA) y el Centro Internacional de Física Teórica de Trieste, Trieste, 1978), Informe Técnico IAEA-SMR/43, OIEA, Viena (1980).
- [3] Nuclear Theory for Applications (Actas del curso interregional de capacitación avanzada organizado conjuntamente por la SDN (OIEA) y el Centro Internacional de Física Teórica de Trieste, Trieste, 1980), Informe Técnico que será publicado.
- [4] WRENDIA 79/80, "World Request List for Nuclear Data", editado por D.W. Muir, IAEA/NDS; INDC(SEC)-73/URSF (octubre 1979).
- [5] Nuclear Data in Science and Technology (Actas de un simposio celebrado en París, 1973), STI/PUB/343, OIEA, Viena (1973).
- [6] Fission Product Nuclear Data (Actas de la reunión de un Grupo de expertos, Bolonia, 1973), Informe Técnico IAEA-169, OIEA, Viena (1974).
- [7] Fission Product Nuclear Data (Actas de la reunión de un Grupo asesor, ECN Petten, Países Bajos, 1977), Informe Técnico IAEA-213, OIEA, Viena (1978).
- [8] Transactinium Isotope Nuclear Data (Actas de la reunión de un Grupo de expertos reunido en Karlsruhe, 1975), Informe Técnico IAEA-186, OIEA, Viena (junio 1976).
- [9] Transactinium Isotope Nuclear Data (Actas de la reunión de un Grupo asesor, CEN, Cadarache, Francia, 1979), Informe Técnico IAEA-TEC-DOC-232, OIEA, Viena (que será publicado).
- [10] Neutron Cross-Sections for Reactor Dosimetry (Actas de una reunión de consultores, Viena, 1976), Informe Técnico IAEA-208, OIEA, Viena (1978).
- [11] Nuclear Data for Fusion Reactor Technology (Actas de la reunión de un Grupo asesor, Viena, 1978), Informe Técnico IAEA-TEC-DOC-223, OIEA, Viena (1979).
- [12] Neutron Data for Reactors (Actas de la Conferencia, París, 1966), STI/PUB/140, OIEA, Viena (1967).
- [13] Second Int. Conf. on Nuclear Data for Reactors (Actas de la Conferencia, Helsinki, 1970), STI/PUB/259, OIEA, Viena (1970).
- [14] Nuclear Standards for Neutron Measurements (Actas de la reunión de un Grupo de expertos, Bruselas, 1967), Informe Técnico IAEA-107, OIEA, Viena (1968).
- [15] Neutron Standard Reference Data (Actas de la reunión de un Grupo de expertos, Viena, 1972), STI/PUB/371, OIEA, Viena (1974).
- [16] An International Neutron Data System (Actas de la reunión de un Grupo de expertos, Brookhaven, 1969), Colección de Informes Técnicos N° 100, OIEA, Viena (1969).
- [17] Neutron Nuclear Data Evaluation (Actas de la reunión de un Grupo de expertos, Viena, 1971), Colección de Informes Técnicos N° 146, OIEA, Viena (1973).
- [18] Neutron Source Properties (Actas de una reunión de consultores, Debrecen, Hungría, marzo 1980), Informe del CIDN (que se publicará).
- [19] Meeting on the status of $\bar{\nu}$ data for the main fissile nuclides, OIEA, Viena, junio 1970. (Véase la Revista de Energía Atómica 10, 4 (1972), página 637.)
- [20] Prompt Fission Neutron Spectra (Actas de una reunión de consultores, Viena, 1972), STI/PUB/329, OIEA, Viena (1972).
- [21] Delayed Neutron Properties (Actas de la reunión de un Grupo de consultores, Viena, marzo 1979), INDC(NDS)-107/G+Special (1979).