

que el OIEA resolviera dedicar atenta consideración a estos reactores durante un período determinado; y, por el mismo motivo, el OIEA ha de dedicar detenida atención a la próxima fase del desarrollo de los reactores reproductores rápidos, es decir, a los reactores rápidos refrigerados con gas. Ofrecen éstos diversas ventajas evidentes respecto de los modelos de metal líquido, pero son todavía más complejos técnicamente.

En 1972, el OIEA reunió en Minsk (Unión Soviética) un grupo de estudio de los reactores reproductores rápidos refrigerados con gas. Las conclusiones a que se llegó en aquella reunión han encontrado un eco positivo en la literatura científica.

Reconociendo la creciente importancia de los reactores reproductores rápidos para poder satisfacer las necesidades energéticas del mundo, el Organismo Internacional de Energía Atómica no cesará en su empeño por coordinar las actividades internacionales en esta esfera.

---

Extractos de los discursos de apertura y clausura del  
Simposio sobre el empleo de datos nucleares en la ciencia y la tecnología, París, 1973

## Empleo de datos nucleares

A causa del desarrollo espectacular de la tecnología nuclear durante los veinte últimos años, se hace cada vez más acuciante la necesidad de disponer de un cuerpo de documentación nuclear organizado y fácilmente accesible para la comunidad científica. Hoy día, los progresos de la industria nucleoelectrónica, tales como el actual desarrollo de reactores nucleares más eficaces y el planeamiento de reactores de fusión termo-nuclear, así como el empleo creciente de métodos y técnicas nucleares en casi todas las esferas de la ciencia y la tecnología, reclaman continuamente una información numérica sobre cuestiones nucleares — los denominados comúnmente datos nucleares — cada vez más copiosa y de mejor calidad.

En los últimos años, la compilación y empleo de datos nucleares han aumentado considerablemente en magnitud, alcance y profundidad, y aún aumentarán más en lo futuro. Tal fue la impresión que prevalecía al final del Simposio internacional sobre el empleo de datos nucleares en la ciencia y la tecnología, que, patrocinado por el Organismo Internacional de Energía Atómica, se celebró en París el año pasado. La reunión comparó el estado actual de la compilación de datos nucleares con los requisitos de la ciencia y la tecnología en esta esfera.

El Simposio demostró que, aunque la energía nucleoelectrónica es el campo donde la necesidad de compilar datos nucleares se deja sentir con mayor vigor, el número creciente de aplicaciones de las técnicas nucleares en muchas ramas de la ciencia y la tecnología y la obligación de proteger al hombre contra las radiaciones nucleares, exigen que se amplíe considerablemente el alcance y profundidad de dicha compilación. Disponer de datos nucleares exactos y fáciles de obtener es cada vez más importante para los científicos que utilizan las radiaciones nucleares y los isótopos en radiobiología, diagnóstico y terapéutica, análisis por activación, geología, investigación de materiales y en otras esferas. Con los perfeccionamientos introducidos en los últimos años en las técnicas experimentales nucleares, que han dado lugar a una enorme expansión del volumen de datos nucleares medidos, se ha planteado un nuevo problema: el de compilar y clasificar los datos producidos y ponerlos a disposición de sus usuarios en la forma adecuada y en el momento oportuno. También se ha hecho más patente la necesidad de reconocer la debida justificación y prioridad a la compilación de datos nucleares.

## DISCURSO DE APERTURA

El discurso de apertura del Simposio estuvo a cargo del Dr. Alvin N. Weinberg, antiguo Director del Oak Ridge National Laboratory (Estados Unidos), y actualmente Director de Investigaciones y Desarrollo de la Federal Energy Office de los Estados Unidos.

El Dr. Weinberg enfocó estos problemas desde el punto de vista de la importancia creciente de la ciencia y tecnología nucleares en la vida de cada uno, y acabó su discurso diciendo:

*“Para el año 2000 habrá en los Estados Unidos 500 reactores en funcionamiento, y no muchos menos en el resto del mundo. Para entonces la existencia de núcleos radiactivos no constituirá una mera curiosidad científica sino un factor constantemente presente en la vida cotidiana. Todo el mundo tendrá que entender de núcleos radiactivos: ingenieros químicos, geólogos, geoquímicos, especialistas en ciencias de la atmósfera, oceanógrafos, paleógrafos, ecólogos, antropólogos, veterinarios, especialistas en ciencias de la agricultura, edafólogos, economistas y especialistas en ciencia política. Cada grupo profesional querrá información en forma fácil de manejar, fácil de transmitir y fácil de recordar. Los compiladores tendrán que atender las necesidades de muchos sectores de nuestra sociedad y facilitar datos nucleares en formas de presentación específicas para cada sector.*

*Esto quiere decir que habrá una profunda necesidad, cada vez mayor, de contar con compilaciones de datos nucleares, y que esta necesidad es ajena a la ciencia nuclear propiamente dicha. No es probable que los posibles usuarios se dirijan por su propia iniciativa a los compiladores para pedirles determinadas compilaciones destinadas a usos muy concretos. Será el compilador quien tenga que buscar, con perseverancia y energía, los posibles usuarios. Esta tarea quizá no resulte del todo imposible gracias a lo siguiente:*

- 1) Hay conferencias, como la actual, en que usuarios y compiladores se reúnen para cambiar impresiones sobre los problemas principales y para elaborar en común las medidas que deban adoptarse.*
- 2) Se pueden crear centros de datos nucleares en grandes organizaciones polifacéticas, como sucede actualmente en los laboratorios nucleares de muchos países, lo que facilita una buena comunicación entre los compiladores y aquellos usuarios que están relacionados con la esfera de la energía nuclear.*
- 3) Los comités que ya hemos mencionado, como el Comité de Datos Nucleares de los Estados Unidos, pueden contribuir muy útilmente a la labor de fijar prioridades para la compilación de datos nucleares. Los diversos comités asesores sobre secciones eficaces neutrónicas han resultado indudablemente útiles tanto en la medición como en la evaluación de datos para el diseño de reactores; sin embargo, los sectores más generales de la ciencia nuclear y de sus aplicaciones no poseen la misma unidad de tema, ni, en este orden de ideas, la estructura de gestión centralizada que tienen las actividades de ingeniería y diseño de reactores. De aquí que los comités encuentren aún mayor dificultad para percatarse con exactitud de las necesidades de esta comunidad más amplia de especialistas. Además, los comités carecen de agilidad y por ello quizá impongan nuevas demoras en la transmisión de la información del experimentador al usuario, que es, en definitiva, lo que se trata de activar.*
- 4) Por último, los ingredientes más importantes son la inteligencia, la energía y la visión de compilador individual o de las organizaciones compiladoras. A este respecto, es importante encontrar la manera de transformar los centros que poseen una tradición de motivación interna hacia las ciencias nucleares básicas, en centros de mayor utilidad para la comunidad de la ciencia aplicada. Una respuesta obvia y simple sería instar a estos compiladores de datos nucleares a que adquieran un conocimiento más íntimo de las necesidades de los usuarios: al fin y al cabo, cuando un compilador fija una prioridad conformándose a la*

*lógica interna de la ciencia nuclear, tiene que conocer íntimamente dicha lógica para poder decidir lo que se necesita para fortalecer el edificio de esta ciencia. ¿Es pecar de falta de realismo pedir que los propios compiladores de datos nucleares se ocupen en cierto modo de las necesidades de la comunidad de especialistas que trabajan en las aplicaciones de la ciencia nuclear, a quienes sus datos puedan ser de utilidad, a fin de que, aunque su cometido principal siga siendo su propia ciencia y sus criterios primordiales de opción mantengan su carácter interno, utilicen algunas sugerencias del mundo de la ciencia aplicada al fijar sus prioridades? En el terreno práctico, esto significa que al menos unos pocos compiladores, dentro de cada grupo básico de compilación, tendrían que adquirir cierto conocimiento de las ciencias aplicadas y sentir cierto interés por ellas.*

*Fijar prioridades en la compilación de datos nucleares no es tarea más fácil que fijarlas con respecto a la propia ciencia nuclear. Y, en verdad, más que proponer prioridades específicas, hemos aludido a mecanismos para fijar prioridades, en particular la dirección u orientación de los comités y del compilador individual informado, y especialmente del que trabaje en un terreno que abarque varias materias. Por supuesto, los dos mecanismos no se excluyen recíprocamente. Únicamente es de esperar que la tendencia que existe actualmente hacia la centralización de las decisiones en la ciencia, mediante la creación de comités centrales, no dé lugar a que el compilador individual descuide su obligación personal de adquirir buenos conocimientos y de interesarse respecto de las necesidades de las comunidades de especialistas que trabajan tanto en la ciencia nuclear básica como en sus aplicaciones y a cuyo servicio se destinan sus compilaciones”.*

## RESUMEN

El resumen del Simposio estuvo a cargo del **Dr. W. Bennet Lewis, del Canadá, antiguo vicepresidente (Ciencia) de la Atomic Energy of Canada Limited.**

En el extracto que viene a continuación figuran los puntos principales de su discurso:

*El Simposio se convocó principalmente para examinar cómo los servicios de los compiladores y evaluadores de datos nucleares puedan ser de utilidad para los usuarios de dichos datos. Entre los usuarios figuran casi todos los productores y también los responsables de los nuevos problemas del mundo. Por otra parte, los problemas del mundo se plantean dentro del marco de población inmensa, que crece rápida e ininterrumpidamente, y que, debido a las modernas comunicaciones, sabe qué recompensas puede esperar una vida humana.*

*El promedio de edad de la población mundial se sitúa probablemente en menos de 20 años, por lo que para la mayoría, está aún por llegar lo más importante de su vida. En las realizaciones y logros que esta mayoría puede llevar a cabo, los datos nucleares desempeñan un papel más importante de lo que se piensa. Los datos nucleares contribuyen a una gama de actividades que van desde lo más esencial de la existencia sobre la tierra — conservar la vida, alimentarse, abrigarse y gozar de salud — hasta los proyectos más inimaginables, como el envío de ocho hombres al planeta Marte.*

*Existen problemas de elección a todo lo largo del camino, pues la medición y compilación de datos nucleares no proporcionan automáticamente todo lo que el medidor y el compilador buscan en la vida. Debido al sistema de división del trabajo que ha sido establecido en el mundo y que parece necesario para mantener una población de tal magnitud, corresponde a los demás facilitar el alimento, y todo lo necesario para la vida, a sus servidores los medidores y compiladores, cuya productividad no será muy grande si se les trata como esclavos.*

*El discurso de apertura del Dr. Weinberg da por supuesto que el primer obstáculo ha sido superado y que los científicos existen y han terminado su formación básica, de modo que*

*ahora se les plantea el problema de escoger la actividad que signifique la ciencia adecuada, es decir la que pueda considerarse como el "arte de lo solucionable". Pero la mayor parte de los caminos escogidos pueden también considerarse susceptibles de producir un beneficio tangible en un período de tiempo que sea suficiente desde un punto de vista práctico, período que actualmente parece ser algo más corto que la carrera de un solo científico, pero que pudiera ser mucho más largo si los políticos del mundo que dirigen y consolidan la división del trabajo diesen pruebas de una visión de largo alcance.*

*Permítaseme ahora ocuparme de algunas de las opciones prácticas, dando por supuesto que estas opciones han de servir de orientación para que los compiladores y evaluadores competentes realicen su trabajo de la mejor forma posible.*

### **Utilización de los datos nucleares**

*Comenzaré por los usuarios en la esfera de la medicina. A primera vista, parece que lo que principalmente necesitan es una ciencia de la radiobiología que sea digna de este nombre. Se nos ha explicado que los conceptos de eficacia radiobiológica (ERB) y las ideas elementales de microdosimetría y estructura de las huellas de partículas radiactivas no son adecuados para explicar los efectos biológicos tan desmesurados que puede producir una pequeña cantidad de radiación ionizante. Considérese una dosis de radiaciones gamma de 500 rads en la totalidad del cuerpo humano. Aunque solamente forme una densidad de energía muy reducida — es decir, 50 000 ergos por gramo, que no elevarían la temperatura más de 1/800 grados — puede aún provocar la muerte de un ser humano. No obstante, la aplicación de cantidades similares con fines terapéuticos puede producir efectos biológicos beneficiosos.*

*Los radioisótopos desempeñan un papel en la medicina, tanto en diagnosis como en terapia. En las diversas farmacopeas del mundo existe cierto número de isótopos, debido a sus condiciones de disponibilidad y períodos apropiados, pero pudieran existir aún más. Por ello, es necesario disponer de un número mayor de datos nucleares, bien evaluados y compilados. Otro efecto sorprendente en la esfera de la terapia se deriva de la aceptación de los conceptos de eficacia radiobiológica (ERB) y transferencia energética lineal (TEL) que invitan a aplicar protones de altas energías y partículas alfa, así como los productos artificiales más exóticos, los piones, como agentes específicos contra los tumores localizados. El tema completo de los mesones producidos por los aceleradores de partículas de energía "intermedia" descubre a los evaluadores y compiladores de datos nucleares una nueva región de su ciencia que es todavía casi enteramente yerma.*

*Me gustaría continuar con esta metáfora del yermo y del jardín, ya que parece tan adecuada al tratar de esta cuestión de las opciones que se presentan ante los científicos nucleares que, afortunadamente, son muchos y poseen sus preferencias individuales. Algunos sentirán mayor satisfacción en proseguir su trabajo en jardines bien ordenados, reinos en los que los datos nucleares son numerosos y están incorporados en grandes compilaciones, programas para encuestas con todos los datos evaluados y registrados en cintas magnéticas. Otros preferirán explorar en el desierto con protones de 800 MeV y los mesones, neutrones y productos de espalación que producen. La región de los neutrones de 14 MeV procedentes de la reacción D,T está situada en el margen existente entre el páramo y el jardín, exigiendo una cuidadosa planificación para que las mediciones y evaluaciones tengan el mayor significado.*

*Volviendo al reino principal de los usuarios, la generación de energía nucleoelectrónica, el discurso de apertura nos recordó que uno de los problemas que suscitan mayor preocupación, y acerca del cual se han escrito unas 22 000 páginas de declaraciones en el curso del año pasado, es la necesidad de disponer de mejor información experimental sobre la energía liberada de los productos de fisión de período corto inmediatamente subsiguiente a la*

parada de un reactor que funcionaba a alta potencia. En general, los datos nucleares se emplean ampliamente y de modo francamente satisfactorio en lo tocante a generación de energía nucleoelectrónica para los tipos establecidos de reactores, por lo que en el simposio se hicieron pocas comunicaciones sobre este tema. Por otra parte, nadie parece estar satisfecho en lo que respecta a los posibles reactores reproductores rápidos, y muchas memorias se refieren a las discrepancias sobresalientes que existen entre los cálculos basados sobre los datos nucleares microscópicos evaluados y los resultados de los experimentos integrales sobre conjuntos de reactores. Al buscar la concordancia entre los datos microscópicos e integrales para los reactores rápidos, se reduce el juego de los modelos y métodos de cálculo, por lo que todavía se está tratando de mejorar los datos nucleares microscópicos.

Probablemente transcurrirá mucho tiempo antes de que la explotación en gran escala de la energía nucleoelectrónica producida por la fisión pueda recibir alguna ayuda de la fusión nuclear. Esta ayuda quizá no represente tanto una contribución a la energía como una contribución a los ciclos generales de neutrones y combustibles. Los reactores híbridos de fisión-fusión y las cadenas de fusión subtermonuclear constituyen todavía zonas ampliamente desérticas, pero que quizá merezcan ser cultivadas.

Muchos de los usuarios de datos nucleares sólo han sido citados mediante unas pocas palabras fortuitas. Se conocen bien las aplicaciones de los radioisótopos como trazadores para estudiar las posibilidades de mejorar el desarrollo de los cultivos y para calcular las cantidades óptimas de ingestión de piensos en ganadería, pero los progresos de la tecnología nuclear están proporcionando isótopos todavía más convenientes y adecuados. Su elección, teniendo en cuenta la producción, transmisión y aplicación, se basa en muchas de las compilaciones de datos nucleares. Además, con el título de química, se examinó otra rama entera de la tecnología que utiliza isótopos estables a modo de trazadores. Estos isótopos estables pueden identificarse y medirse entonces con el empleo de una de las técnicas nucleares por activación recurriendo a fuentes de neutrones tales como el californio-252, reactores nucleares experimentalmente adecuados, aceleradores de partículas que bombardeen la muestra preparada en forma de un objetivo adecuado o aceleradores compactos que produzcan neutrones de 14 MeV en la esfera de los aceleradores de energías más altas, comprendidos los microtrones y betatrones.

Se han citado algunos usuarios especiales en las esferas de las ciencias ambientales, oceanografía, minería y otras muchas esferas de la industria y de las ciencias aplicadas.

Además, se han dado ejemplos y se han hecho pronósticos de nuevos progresos en tecnología, conseguidos gracias a las derivaciones del desarrollo en gran escala de la energía nuclear. En particular, se conseguirá disponer del plutonio 238, isótopo de un período de semidesintegración de 90 años, que podrá utilizarse no solamente en las fuentes de pequeñas energías para estimuladores del ritmo cardíaco, sino posiblemente también como material fisible que aumente su producción de energía mediante fisión en un reactor en miniatura.

Los experimentos sobre la fusión nuclear controlada han dado lugar al examen de la regeneración o reproducción del tritio, que exigen una ampliación no sólo de neutrones energéticos sino también de reacciones de partículas que produzcan tritio. Se necesita una nueva tecnología para la retención y recuperación del tritio, que pueden ser controladas mediante técnicas nucleares.

Se están iniciando estudios muy amplios sobre estructuras detalladas de películas protectoras de superficies, de las que tanto dependen los procesos industriales. Entre estas técnicas figuran la retrodispersión nuclear y los estudios de reacciones nucleares con el empleo de blancos gruesos.

Se ha explicado que la química de los átomos calientes necesita algunos datos nucleares compilados.

*La ciencia de los plasmas y de los lasers también se interrelaciona con la ciencia nuclear en algunos aspectos.*

### **Compilaciones de datos nucleares**

*El Simposio ha puesto de manifiesto que no solamente los usuarios ajenos a la ciencia nuclear, sino incluso los científicos nucleares que constituían la gran mayoría de los participantes, ignoran la existencia de muchísimas de las numerosas compilaciones de datos nucleares disponibles y sus méritos especiales.*

*Los científicos nucleares que trabajan en la esfera de la oceanografía han llegado a la conclusión de que les será de mayor utilidad una compilación presentada sobre cinta magnética, que pueda corregirse, ampliarse y actualizarse constantemente mediante una computadora. Otros usuarios piden lo contrario: una tabulación compacta que presente solamente la información especial que necesitan. Ambos coinciden en que buscan información exacta. La evaluación de la exactitud de los datos nucleares es una tarea de envergadura que necesita todos los servicios obtenidos por los compiladores de las tabulaciones básicas principales. Es necesario que exista una sólida correspondencia entre estas compilaciones básicas y la multiplicidad de compilaciones más reducidas destinadas a fines especiales. Puede ser muy desalentador para un usuario de compilaciones pequeñas hallar diferentes valores calculados en diferentes juegos de tablas para la misma constante nuclear, sin ninguna orientación para poder decidir.*

*El medidor puede hacer mucho para ayudar a los evaluadores en su difícil tarea. En general, deben darse mayores detalles en lo que respecta al cálculo de errores, tanto en lo concerniente a los métodos y errores sistemáticos posibles como a los puntos de referencia en que las mediciones son relativas. Salvo unas pocas excepciones dignas de mención, la experiencia general de los evaluadores pone de manifiesto que las diferentes mediciones no coinciden dentro de los límites supuestos de error. Cabe proponer que, en caso de duda, el medidor tenga que consultar, y que no deba dar por terminado su trabajo hasta coincidir con el evaluador.*

*Los tipos de datos nucleares que se necesitan en las compilaciones son cada vez más numerosos. La introducción, a partir de 1963, del espectrómetro de rayos gamma Germanium, de alta resolución, aumentó las necesidades de espectros detallados de rayos gamma y, a medida que el análisis por activación se extiende al empleo de los neutrones de energías más altas, protones gamma y partículas cargadas, se ensancha la gama de niveles nucleares y estados isoméricos con diferentes períodos de semidesintegración. Los usuarios han pedido repetidamente intensidades absolutas de rayos gamma. Además, a pesar de la alta resolución, las interferencias son importantes y deben hallarse fácilmente en las tabulaciones. Las técnicas de análisis se están ampliando constantemente, abarcando coincidencias no sólo entre rayos gamma, sino también con rayos X y electrones Auger.*

*La gama de núcleos de interés no sólo abarca los productos directos de la fisión, sino también los núclidos resultantes de la captura de neutrones por los productos de la fisión.*

*El empleo satisfactorio de las relaciones teóricas para ampliar los datos nucleares se ha evocado en relación con varias cuestiones, comprendiendo las resonancias de activación no resueltas, especialmente las resonancias neutrónicas en los componentes del reactor y las funciones de excitación en reacciones nucleares con partículas cargadas.*

*Existe una colaboración evidente y cada vez mayor entre los centros regionales de datos nucleares. Esta colaboración es todavía más estrecha en el campo de los datos nucleares neutrónicos para reactores. Se busca una colaboración similar en otras esferas, especialmente en el análisis por activación, que se está haciendo tan complejo.*

*La esfera del análisis por activación constituye un buen ejemplo de la tendencia actual de la enseñanza universitaria hacia las actividades interdisciplinarias. Da a conocer a los estudiantes las limitaciones de las compilaciones, de modo que no se limiten a engrosar las filas de los compiladores, sino que aprendan también las dificultades.*

*Los evaluadores y compiladores de datos desean que se consigan formatos normalizados a nivel internacional, así como datos clave de referencia, tales como la producción de neutrones en la fisión del californio-252. Asimismo les gustaría que se concretasen los significados prestados a la expresión "datos evaluados" y a otros términos poco precisos utilizados por los compiladores. Además, su trabajo debiera verse apoyado por la adopción más amplia de palabras clave en las publicaciones científicas. Ahora bien, las palabras clave no pueden poner de manifiesto todos los datos ocultos que, empero, se relacionan con ellas.*

*El Simposio ha contado con la participación no sólo de un número muy amplio de personas que han puesto a su disposición sus evaluaciones y compilaciones de datos nucleares, sino también de usuarios que trabajan en una gama muy amplia de aplicaciones. Lo que, en definitiva, destaco es que, en general, los participantes se han percatado de la magnitud, complejidad e importancia creciente del examen minucioso de datos para su utilización con tan numerosas finalidades.*

## Desalación y centrales nucleares bifuncionales: perspectivas en el Reino Unido

por Owen Pugh, Director de los programas de desalación de la UKAEA

En el Simposio sobre desalación nuclear que el OIEA celebró en Madrid en 1968, el Dr. H. Kronberger, entretanto fallecido, presentó como introducción una memoria con un título muy similar [1]. Comenzó diciendo que "el Reino Unido no atribuye a la desalación nuclear ninguna virtud especial, pues ambas soluciones técnicas están bien experimentadas y son aptas para grandes instalaciones industriales". Expuso las razones de que hasta entonces no se hubieran construido plantas de desalación, refiriéndose a la magnitud de los proyectos propuestos y a la rigidez de la producción relativa de agua y electricidad impuesta por los sistemas de desalación y el ciclo de potencia de los reactores. En muchos estudios la desalación nuclear sólo parece viable a condición de incluir otras instalaciones fabriles o subproductos químicos, y rara vez se tienen en cuenta los problemas que plantea la integración en el sistema existente de distribución de agua y de electricidad.