

Salvaguardia del ciclo del combustible: metodologías

por Hans Gruemm

La eficacia de las salvaguardias del OIEA se caracteriza por el grado en que éstas logran su objetivo básico: la verificación creíble de que ningún material nuclear se desvía de los usos pacíficos. Esta eficacia depende, entre otras cosas, aunque de manera significativa, de la fuerza de trabajo con arreglo a la cantidad y capacidad de los inspectores. Si los Estados Miembros lo solicitan, será preciso aumentar la plantilla para elevar aún más la eficacia y tomar en cuenta las nuevas instalaciones que se prevé que se sometan a salvaguardias en el futuro. Con todo, resulta difícil lograr ese aumento dadas las restricciones financieras que impone el presupuesto del OIEA.

Por consiguiente, se ha hecho y se hace mucho por mejorar la utilización del personal disponible, incluida la estandarización de los métodos de inspección, el mejoramiento de las prácticas de gestión y la capacitación, la racionalización de la planificación, la presentación de informes, la evaluación de las actividades de inspección y la creación de nuevos equipos.*

El presente artículo se centra en determinados aspectos de la metodología de verificación que se utiliza actualmente y plantea la interrogante siguiente: ¿Es posible concebir alguna modificación de esta metodología que ayude a ahorrar personal sin que disminuya la eficacia?

En este contexto ya se ha planteado que los métodos de salvaguardia actuales están “orientados a una instalación determinada” y que la adopción de un “método orientado al ciclo del combustible” produciría el ahorro deseado.** Se han dedicado muchos estudios a esta interesantísima sugerencia. Hasta el momento, no se ha encontrado una respuesta precisa y será menester realizar nuevos estudios para llegar a una conclusión. A continuación se explican las cuestiones esenciales del problema y se examinan algunas vías posibles para solucionarlo.

Métodos tipo de la metodología actual

A simple vista, la metodología de salvaguardias actual parece de hecho estar “orientada a una instalación determinada”, es decir, a tratar las instalaciones como entidades aisladas sin tomar en cuenta las características del ciclo del combustible nacional en su conjunto.

El Sr. Gruemm ha sido Director General Adjunto del Departamento de Salvaguardias del Organismo y actualmente labora como consultor del OIEA. En el artículo se reflejan sus puntos de vista personales.

* El *IAEA Safeguards Glossary* (IAEA/SG/INF/1) contiene las definiciones y la terminología técnica empleada en el presente artículo.

** El método de salvaguardias es la combinación del control contable del material nuclear, la contención, la vigilancia y otras medidas que se consideran necesarias y suficientes para verificar que no se ha desviado ningún material nuclear.

En realidad, para cada modelo de instalación nuclear se conciben métodos tipo. Conforme a los incisos a) y c) del párrafo 81 del documento [153]* en particular, dichos métodos toman en cuenta las características correspondientes a las salvaguardias del tipo de instalación de que se trate, y la forma y accesibilidad del material nuclear.

Los métodos tipo se basan en instalaciones tipo y se modifican para que justifiquen los rasgos concretos de cada instalación (método para una instalación determinada). Las medidas de verificación que se prevén para cada instalación y la correspondiente actividad real de inspección corriente (ARIC) estimada se negocian con el Estado. La suma de la ARIC de todas las instalaciones que existen en el Estado equivale a la actividad anual de inspección en días-hombre que, en principio, debe realizarse en el Estado. Estas actividades anuales, ajustadas de acuerdo con el estado operacional previsto de las instalaciones (por ejemplo, los paros laborales), sirven de base para la asignación del personal. Las actividades que se asignan a cada Estado se reducen proporcionalmente a fin de adaptarlas al personal con que se espera contar.

Estipulaciones de los acuerdos de salvaguardia

La denominación de “bloque de edificios” que se da a cada instalación según el método de salvaguardia de un Estado está en conformidad con importantes estipulaciones de los acuerdos de salvaguardia respectivos.

En los documentos [153] y [66]** se describen los procedimientos que se aplican a los tipos de instalación o a cada instalación, por ejemplo, los relativos a la información en materia de diseño, las medidas concretas y la actividad de inspección. En particular, en el inciso b) del párrafo 90 del documento [153] se pide al OIEA que formule sus conclusiones en cuanto a las actividades de verificación que ha realizado en el Estado respecto de cada zona de balance de materiales.*** Lo anterior implica que la conclusión general a que llegue el OIEA respecto del ciclo del combustible nacional en su conjunto debe basarse en las conclusiones relativas a cada instalación del ciclo.

Sin embargo, el papel destacado que se confiere a la instalación al diseñar los métodos de salvaguardia no significa que se pasen por alto las características del ciclo del combustible nacional.

* Documento INFCIRC/153 (Corr.) modelo de acuerdos de salvaguardia en que figuran las partes en el Tratado de No Proliferación (TNP).

** En el INFCIRC/66/Rev.2 figuran directrices de los acuerdos de salvaguardia distintas del tipo de la [153].

*** Una instalación nuclear puede estar compuesta por varias zonas de este tipo.

Por ejemplo, según los documentos [153] y [66], respectivamente, existe una diferencia fundamental entre los acuerdos de salvaguardia. En el primer caso el Estado somete a las salvaguardias del OIEA (situación total) *todos* los materiales nucleares que utiliza en *todas* sus actividades nucleares pacíficas. Por el contrario, los acuerdos del tipo [66] abarcan *por separado* determinados materiales, servicios, equipos, instalaciones e información, pero no necesariamente todas las actividades nucleares del Estado. En este caso, las instalaciones sometidas a las salvaguardias del OIEA (por ejemplo, un reactor) pueden estar relacionadas con instalaciones no salvaguardadas (por ejemplo, una planta de fabricación de combustible). Ello hace sumamente difícil la verificación del balance completo de materiales nucleares en la instalación de que se trate.

Esta circunstancia debe tomarse en cuenta al diseñar el método de salvaguardia para la instalación, que puede ser diferente del que se aplica en una instalación del mismo tipo sometida a salvaguardias totales. Dado que la mayoría de las instalaciones están sometidas a salvaguardias completas, el presente examen se limita a éstas.

Otros factores

Otro factor que concierne a determinados Estados o grupos de Estados y su ciclo del combustible en general es la eficacia de los sistemas nacionales de contabilidad y control de materiales nucleares (SNCC) y el grado de independencia funcional de los explotadores de las instalaciones con respecto al SNCC (inciso b) del párrafo 81 del documento [153]). Ello se tomó en consideración explícitamente en los acuerdos de salvaguardia que abarcan convenios especiales de cooperación entre el OIEA y el SNCC o su equivalente.

Además de las diferencias que existen entre los tipos de acuerdos de salvaguardia, existen también diferencias técnicas básicas entre los ciclos nacionales del combustible que deben considerarse en virtud del inciso c) del párrafo 6 del documento [153]. En este párrafo se exige que las actividades de los procedimientos de verificación se concentren en las etapas del ciclo del combustible nuclear que entrañen la producción, elaboración y utilización o el almacenamiento de material nuclear con que se podría elaborar sin dificultad artefactos explosivos nucleares, es decir, "material de uso directo" (uranio y plutonio muy enriquecido).

En realidad, el OIEA ha empleado esta directriz para concentrar las actividades de inspección en "instalaciones sensibles", tales como las plantas de enriquecimiento o de reelaboración, y otras instalaciones que cuentan con grandes cantidades de material de uso directo (por ejemplo, combustible nuevo en determinados reactores, conjuntos críticos y plantas de fabricación de combustible). En consecuencia, cerca del 35% de las actividades totales de inspección del OIEA en 1983 se concentró en 14 instalaciones sensibles y el 65% restante en más de otras 400. Por supuesto, esto origina un sinnúmero de actividades de inspección en los Estados que poseen muchas instalaciones nucleares y un ciclo del combustible muy desarrollado: en 1983, casi el 70% de las actividades de inspección tuvo que

realizarse en 5 de los 50 Estados visitados por los inspectores del OIEA.

Las observaciones anteriores evidencian que al concebir los métodos de salvaguardia que se emplean en la actualidad se consideraron los requisitos legales pertinentes y las características técnicas más importantes de los ciclos del combustible nacionales.

Aparte de este tratamiento diferenciado de los ciclos del combustible nacionales que se prescriben explícitamente en los acuerdos de salvaguardias en el caso de instalaciones comparables se utilizan los mismos métodos y se prevén las mismas actividades de inspección. Según el estado actual de los conocimientos, esta política refleja de una manera transparente el principio de no discriminación entre los Estados. Quienes proponen subrayar aún más la orientación del ciclo del combustible de los métodos de salvaguardia, es indudable que tienen presente otras diferencias entre los ciclos del combustible nacionales. Obrar de esa manera implicaría un tratamiento desigual del mismo tipo de instalación en Estados diferentes atendiendo a características del ciclo del combustible nacional circundante que aún no se toman en cuenta.

Debe aclararse que habría que elaborar cuidadosamente la modificación correspondiente de los métodos de salvaguardia para asegurar que pueda justificarse, de una forma objetiva y aceptable para los Estados Miembros, el tratamiento desigual del mismo tipo de instalación en los distintos ciclos del combustible de los países. Por añadidura, habría que demostrar que los métodos modificados son al menos tan eficaces como los actuales para alcanzar el objetivo de las salvaguardias.

Posibles métodos modificados

En el análisis de las diferencias que existen entre los ciclos del combustible de distintos Estados aún no se toman en consideración dos criterios: 1) la inexistencia de instalaciones sensibles; y 2) la existencia de muchas instalaciones del mismo tipo (por ejemplo, los reactores de agua ligera) en un ciclo del combustible nacional.

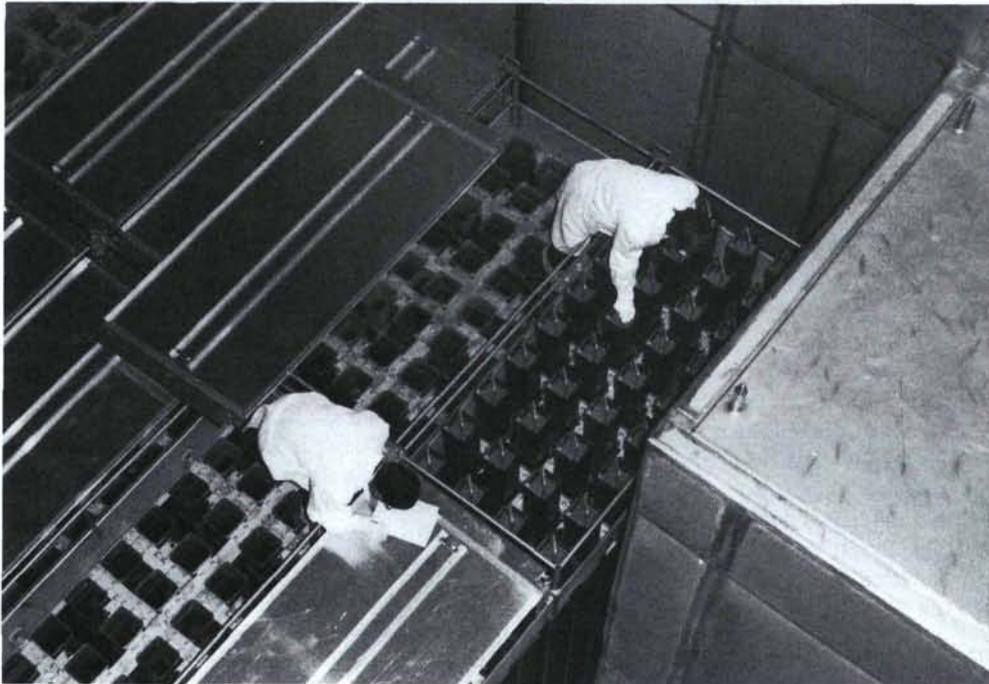
En el inciso c) del párrafo 6 del documento [153] se trata explícitamente el caso de los ciclos del combustible que contienen instalaciones sensibles. Cabría preguntar si puede concebirse una modificación aceptable del método de los ciclos del combustible "insensibles" que permita el ahorro de personal deseado.

Para comprender la magnitud del ahorro que posiblemente podría esperarse de tomar en consideración estas diferencias, un método simplificado podría consistir en agrupar las instalaciones nucleares en cuatro tipos según su "riesgo de desviación" en particular, es decir, conforme a la composición y cantidad de material nuclear presente.*

La agrupación por tipo de instalación sería de la manera siguiente:

- a — Plantas de reelaboración o enriquecimiento, como fuentes de gran cantidad de material de uso directo.

* De conformidad con el inciso a) del párrafo 81 del documento [153], al calcular la ARIC por el método tipo ya se ha tomado en consideración la composición y la cantidad de material nuclear.



La utilización del personal disponible para las inspecciones puede mejorarse modificando las metodologías actuales a fin de destacar más los aspectos relativos al ciclo del combustible. Sin embargo, se requeriría un estudio amplio para evaluar totalmente los efectos de esas modificaciones en otros factores.

- b — Instalaciones que contienen gran cantidad de material de uso directo no irradiado, por ejemplo, el combustible nuevo de algunos reactores, los conjuntos críticos y las plantas de fabricación de combustible asociadas.
- c — Reactores de potencia cargados con uranio poco enriquecido o natural y las plantas de fabricación de combustible asociadas.
- d — Reactores de investigación pequeños, laboratorios, etc., que contienen en total menos

de una cantidad significativa (CS) de material de uso directo.

En el cuadro que se acompaña se ofrecen los porcentajes aproximados de la ARIC de las instalaciones nucleares sujetas a salvaguardias o que se espera que serán sometidas a salvaguardias dentro de unos pocos años en Estados que tienen acuerdos totales. Los Estados que cuentan con un ciclo del combustible del tipo IV no están físicamente en condiciones de desviar una CS de material de uso directo. En esos Estados la actividad

de inspección es reducida y en algunos casos nula. No puede esperarse un ahorro sustancial aunque se modifique el método actual.

Los Estados que tienen un ciclo del combustible del tipo III estarían físicamente en condiciones de desviar una CS o más de material de uso directo sólo después de producir el material en una planta clandestina de enriquecimiento o reelaboración. Ello también sucede cuando el ciclo del combustible del tipo II se desvía de instalaciones del tipo c y d.

El método de salvaguardias actual se basa, empero, en la suposición de que no puede excluirse la existencia de instalaciones clandestinas.* Para lograr ahorros en las actividades de inspección se precisa un cambio fundamental en esta suposición básica y la adopción de la hipótesis de que no existen instalaciones clandestinas en una situación de salvaguardias totales.

En este caso, también sería materialmente imposible que los Estados del tipo III y algunas instalaciones de los Estados del tipo II elaboraran explosivos nucleares, y teóricamente se podrían brindar garantías de no desviación respecto de las instalaciones de que se trata, aunque no se hubieran realizado verificaciones. La hipótesis afectaría cerca del 26% de la actividad total estimada.

No obstante, es improbable que esa modificación drástica de la filosofía de salvaguardias cuente con la anuencia de los Estados Miembros, por diversas razones, a saber:

- En virtud de su Estatuto y los acuerdos de salvaguardia, el OIEA está obligado legalmente a realizar verificaciones en todas las instalaciones amparadas por los acuerdos y a formular conclusiones de los resultados.
- La discontinuación de las actividades de verificación en los ciclos del combustible del tipo III y en algunas instalaciones de los ciclos del combustible del tipo II puede considerarse discriminatoria o de otro modo inaceptable por los demás Estados.
- Se afectaría la credibilidad de las salvaguardias del OIEA, ya que se excluirían ciertas hipótesis de desviación que algunos analistas consideran razonables (por ejemplo, el Estado podría desviar y almacenar material nuclear y emplearlo posteriormente en actividades prohibidas).

Aun cuando la hipótesis anterior no pueda aceptarse, quizás puedan ser de interés las consecuencias de una suposición de menor alcance: la existencia de instalaciones clandestinas sólo constituye una posibilidad remota. Las actividades de verificación podrían entonces hacerse menos rigurosas en casos apropiados. Luego quizás podría considerarse aceptable una menor probabilidad de detección para los ciclos del combustible de los tipos III y IV y algunas instalaciones en los ciclos del combustible del tipo II.

En consecuencia, podría multiplicarse la ARIC estándar de las instalaciones de los tipos c y d de que

* Para un debate anterior, véase el artículo del autor "La verificación por medio de las salvaguardias: su credibilidad y la hipótesis de desviación", *Boletín del OIEA*, vol. 25, n° 4, página 27 (diciembre de 1983).

Cuadro. ARIC aproximada en instalaciones nucleares sujetas a salvaguardias o que se espera que serán sometidas a salvaguardias, en los Estados que tienen acuerdos totales

Tipo de ciclo del combustible	Porcentaje de Estados	Porcentaje del tipo de instalación				Porcentaje de la actividad de inspección total
		a	b	c	d	
I	15	18	28	18	9	73
II	8	—	1	15	1	17
III	27	—	—	4	2	6
IV	50	—	—	—	4	4
Total	100	18	29	37	16	100

se tratase por un "factor de reducción" (r). Sin embargo, no hay un método científico para determinar ese factor. Sería necesario el apoyo de expertos externos para seleccionar un valor técnicamente significativo y políticamente aceptable para los Estados Miembros. Otro problema difícil sería el diseño de un método de salvaguardia para las instalaciones de los tipos c y d, lo que asegura actividades de verificación óptimas (aunque reducidas).

Para brindar un ejemplo de posibles reducciones, se selecciona arbitrariamente $r = 0,5$. Como puede observarse en el Cuadro, se reduciría el 13% de la actividad de inspección teórica total.

La reducción también podría ampliarse por un factor de $r = 0,25$, en las instalaciones de los tipos c y d en los ciclos del combustible del tipo I, suponiendo que el material desviado de estas instalaciones pudiera detectarse en las instalaciones del tipo a, donde tiene que elaborarse para obtener material de uso directo. En este caso, las reducciones de nuestro ejemplo aumentarían a cerca de 20% de las actividades teóricas totales.

No obstante, la cifra calculada de esta manera debe compararse con las actividades actuales: en 1983, sólo alrededor de la mitad de la ARIC total pudo "elaborarse" con el personal disponible, de manera que el ahorro real procedente de las actividades actuales sería de alrededor del 10% de la ARIC total. Esto no es mucho si se compara con el posible costo de credibilidad que entrañaría el cambio en la hipótesis de desviación. El ahorro podría emplearse, en primera instancia, para mejorar la eficacia de las salvaguardias en las instalaciones de los tipos a y b, así como en las instalaciones que han de someterse a salvaguardia en el futuro.

Segundo caso: instalaciones semejantes en un ciclo del combustible

Pasemos ahora al caso 2), en que existen muchas instalaciones del mismo tipo en un ciclo del combustible. Ello se aplica a algunos ciclos del combustible de los tipos I y II. En este caso también surge una interrogante: ¿Es posible reducir las actividades de inspección de tal manera que los Estados Miembros aún puedan considerar aceptable la eficacia resultante?

Se ha sugerido que el método ampliamente utilizado de verificar muestras aleatorias de material nuclear podría extenderse a grupos de reactores de potencia del mismo tipo, en cuyo caso los inspectores del OIEA se presentarían inesperadamente en las instalaciones seleccionadas. Se ha alegado que el efecto de disuasión de esas "inspecciones sorpresivas" compensaría la pérdida de eficacia del control contable de materiales relacionada con la cancelación de las inspecciones en las restantes centrales energéticas.

Esta suposición debe estudiarse con sumo cuidado, ya que salvo algunas excepciones, existen ciertas dudas respecto del efecto de sorpresa de las inspecciones no anunciadas; por ejemplo, en muchos casos los procedimientos necesarios (visa, disponibilidad de personal acompañante del SNCC, etc.) advertirían con antelación a quien pretendiera realizar la desviación. Con todo, más importante es el hecho de que una inspección eficaz requiere una cuidadosa preparación por parte del explotador (por ejemplo, actualización de los archivos) y la adecuada selección de la fase de operación apropiada de la instalación (por ejemplo, sólo puede inspeccionarse el núcleo de un reactor de potencia luego de haberse retirado la tapa de la cuba de seguridad).

Un ejemplo indica el orden de magnitud del ahorro que podría esperarse con el "muestreo de las instalaciones". En la actualidad hay siete Estados que poseen más de cinco centrales nucleares del mismo tipo sometidas a salvaguardias. La ARIC que se ha estimado y acordado para estas instalaciones es de cerca de 19% del total.

Por ejemplo, también supone un factor de reducción de $r = 0,5$ sin examinar la disminución de eficacia asociada. Tomando en cuenta que en estos momentos sólo puede realizarse parte de la ARIC, sólo podría ahorrarse el 5% de la actividad. Ello no es mucho y debería considerarse el ahorro a la luz de la disminución de la eficacia.

Por último, ¿cómo es posible acatar el inciso c) del párrafo 90 del documento [153] que exige que el OIEA verifique los inventarios físicos de cada zona de balance material sujeta a salvaguardia?

Otra posibilidad de ahorrar personal es realizar anualmente una verificación de inventario simultánea de todo un estrato de material de un ciclo del combustible. Lo que se ha llevado a cabo con el material nuevo en un ciclo del combustible de uranio natural y ha producido algunos ahorros sin que disminuya la eficacia de las salvaguardias. La cuestión de si este método puede utilizarse en un ciclo del combustible de reactores de agua ligera es aún discutible y merece un cuidadoso estudio.

Efectos en los objetivos de detección

Los conceptos debatidos están relacionados en la mayoría de los casos, al menos en lo que se refiere a algunas instalaciones, con la reducción de uno de los parámetros más importantes que determinan la eficacia de las salvaguardias, la probabilidad de detección. Cabría preguntar si se pueden concebir modificaciones de otros objetivos de detección, a saber, el plazo teórico

de detección y la CS, que ayuden a ahorrar personal con una pérdida razonable de eficacia.

A propósito, la situación de la plantilla y la experiencia práctica ya exigían que el plazo teórico de detección se extendiera de dos o tres semanas a cuatro semanas en el caso del material de uso directo de fácil acceso. Los Estados Miembros, empero, al parecer no están dispuestos a aceptar que se prolongue aun más el plazo teórico de detección. Además, debe tenerse presente que el sistema de cámaras automáticas que se utiliza ampliamente para la vigilancia necesita que se le cambie la película y se le dé mantenimiento trimestralmente. Ello consume una parte considerable del tiempo del inspector en la instalación, al menos hasta que se disponga de nuevos sistemas de cámaras con un tiempo de funcionamiento más prolongado y alta fiabilidad o que se desarrollen otros métodos de salvaguardia avanzados.

En conclusión, se mantiene la CS. El aumento de los valores que se emplean en la actualidad daría por resultado algún ahorro de personal, ya que la CS es un factor que determina el tamaño de las muestras y, por ende, la actividad necesaria para la verificación de las muestras seleccionadas. La práctica demuestra que en la mayoría de los casos con una actividad modesta se pueden alcanzar los objetivos de detección cuantitativos. Además, los cambios relativamente grandes de los valores de la CS sólo generarían un pequeño ahorro de esfuerzos. En lo que respecta a las instalaciones complejas, se han establecido objetivos de inspección concretos que no coinciden necesariamente con la CS, teniendo presente su posibilidad de realización.

Es posible hacer algunos ahorros, pero se requiere un mayor análisis

Las evaluaciones aproximadas que se hicieron en este artículo indican que al parecer es posible lograr algunos ahorros de personal de inspección si se modifican los métodos de salvaguardia que se utilizan en la actualidad y se hace más hincapié en los aspectos del ciclo del combustible, por ejemplo, suprimiendo algunas hipótesis de desviación y reduciendo la probabilidad de detección deseada en muchas instalaciones nucleares. Aun así se debe estudiar muy cuidadosamente el efecto de esas modificaciones respecto de todas las cuestiones siguientes:

- La aceptabilidad de un cambio significativo de la filosofía de las salvaguardias del OIEA (abandono de algunas hipótesis de desviación) puede asociarse a una reducción de la probabilidad de detección.
- La aceptabilidad de tratamiento diferente al mismo tipo de instalación en distintos Estados.
- El ahorro real de personal que puede esperarse.

Estos problemas complejos requerirían un estudio amplio, así como comprobaciones de los métodos modificados mediante un trabajo práctico de verificación y, si los resultados son satisfactorios, sería preciso que los Estados Miembros aceptaran la modificación sustancial de los conceptos básicos de salvaguardia. El tiempo y el esfuerzo necesarios para esos estudios y comprobaciones no deben subestimarse.