

Energía nuclear sostenible

por Y. Sokolov y R. Beatty

Los instrumentos de evaluación preparados por el OIEA ayudan a los Estados Miembros en la planificación estratégica y la adopción de decisiones sobre el desarrollo y el despliegue de una energía nuclear sostenible.

Una planificación amplia y estratégica de la evolución del sistema energético y del cometido potencial en él de la energía nuclear requiere un profundo entendimiento de la dinámica del cambio y la innovación tecnológicos. Un examen minucioso de las infraestructuras relacionadas con la energía, las preferencias sociales, las orientaciones del desarrollo económico y los problemas medioambientales tienen que formar parte del despliegue nacional de energía nuclear. La evaluación de los sistemas de energía nuclear (NESA) es parte integrante del desarrollo nacional de la energía nucleoelectrica, junto con el desarrollo de la planificación energética y de la infraestructura nuclear por medio del enfoque 'Milestones' del OIEA para las primeras centrales nucleares. En particular, la adopción de un programa de energía nucleoelectrica tiene implicaciones y obligaciones intergeneracionales que superan con mucho un siglo.

La planificación energética apunta a asegurarse de que en las decisiones sobre la demanda de energía y las infraestructuras de la oferta participen todas las partes interesadas, se consideren todas las posibles opciones desde el punto de vista de la oferta y la demanda de energía, y sean coherentes con los objetivos globales de un desarrollo nacional sostenible. La decisión de que la energía nuclear forme parte de una mezcla de energías diversas debe comprender la selección de la tecnología del reactor, el desarrollo de la infraestructura necesaria para las primeras centrales y el entendimiento de toda la serie de repercusiones y consideraciones relacionadas con el despliegue de un sistema de energía nuclear sostenible. Hay que incluir aquí innovaciones en la tecnología nuclear y disposiciones institucionales que contribuyan a la evolución global y sean causadas por ella.

Un sistema de energía nuclear comprende el espectro completo del ciclo del combustible nuclear, esto es, desde la extracción hasta los estados finales de todos los desechos y las disposiciones institucionales conexas. Los sistemas de energía nuclear se caracterizan por infraestructuras complejas y una vida larga, que fácilmente puede extenderse a lo largo de varias

generaciones. Además, el desarrollo o la expansión de la energía nuclear requieren períodos y recursos muy vastos, sobre todo para el diseño y la comercialización de componentes nuevos e innovadores. Los sistemas de energía nuclear deben evaluarse holísticamente, o sea, desde todos los ángulos posibles del desarrollo sostenible, que comprende tres pilares interdependientes y que mutuamente se refuerzan: el desarrollo social, el desarrollo económico y la protección del medio ambiente, vinculados los tres por instituciones gubernamentales efectivas.

Evaluación del sistema de energía nuclear por medio de la metodología del INPRO

Para ayudar a los Estados Miembros a evaluar su planificación estratégica general de sistemas de energía nuclear existentes o futuros, el Proyecto Internacional sobre ciclos del combustible y reactores nucleares innovadores del OIEA (INPRO) ha desarrollado la 'Metodología del INPRO' con aportaciones de 300 expertos internacionales, entre ellos algunos procedentes del Foro Internacional de la Generación IV (GIF). La evaluación de los sistemas de energía nuclear es un enfoque holístico que se vale de este instrumento validado internacionalmente — la metodología del INPRO — para apoyar la planificación a largo plazo y la adopción de decisiones estratégicas sobre el desarrollo y despliegue de la energía nuclear en los Estados Miembros.

Un requisito previo para una NESA es un estudio de planificación de la energía en el caso de los "nuevos" — o una estrategia energética nacional para los países con un programa ya antiguo de energía nucleoelectrica — que defina el papel potencial de la energía nuclear en una mezcla de oferta de energía en el plano nacional, si bien con la debida consideración a las tendencias regionales y mundiales. Los modelos de planificación energética del OIEA ayudan a los planificadores a realizar esos estudios. Las autoridades nacionales encargadas de la política energética o de la planificación del sistema de

El INPRO: Una asociación para el diálogo y la innovación

El Proyecto Internacional sobre ciclos del combustible y reactores nucleares innovadores (INPRO) del OIEA desempeña un papel importante para entender el futuro desarrollo de los sistemas de energía nuclear desde una perspectiva nacional, regional y mundial, y las innovaciones de las tecnologías y las disposiciones institucionales que apoyan ese desarrollo.

Creado como un compromiso de los Estados Miembros del OIEA de contribuir a garantizar la disponibilidad de la energía nuclear como aportación a la satisfacción de manera sostenible de las demandas de energía del siglo XXI, el INPRO reúne a los poseedores y los usuarios de la tecnología para examinar conjuntamente las actividades internacionales y nacionales que darían lugar a las innovaciones necesarias en reactores nucleares y ciclos del combustible.

El INPRO sirve de foro de debate y cooperación de expertos y responsables de políticas de países industrializados y en desarrollo sobre todos los aspectos de la planificación, el desarrollo y el despliegue de la energía nuclear sostenible. Fomenta un diálogo mutuamente beneficioso entre los países con tecnología nuclear y los países que están considerando esas tecnologías para desarrollar una nueva capacidad de energía nuclear. También ofrece apoyo a los Estados Miembros en la planificación estratégica nacional y la adopción de decisiones sobre el desarrollo y el despliegue de la energía nuclear, y mejora el conocimiento de las opciones de innovación tecnológica para el futuro.

Los Estados Miembros del OIEA y organizaciones internacionales reconocidas pueden convertirse en miembros del INPRO siempre y cuando hagan una contribución al proyecto. Las contribuciones pueden adoptar diversas formas: donación de fondos extrapresupuestarios, envío de expertos gratuitos, realización de estudios de evaluación con la metodología del INPRO o participación en los proyectos en colaboración del INPRO.

Desde su creación en 2001, el número de miembros del INPRO ha ascendido a 31. Estos países representan el 75% del PIB mundial y el 65% de la población del planeta.

Otros diez países tienen la condición de observadores mientras contemplan la posibilidad de adherirse o participan a nivel de trabajo. Además, el INPRO colabora con otras iniciativas internacionales, como el Foro Internacional de la Generación IV (GIF) y la Plataforma tecnológica europea de energía nuclear sostenible (SNETP), para garantizar una buena sinergia y evitar la duplicación de los esfuerzos.

El proyecto, financiado esencialmente mediante contribuciones extrapresupuestarias, cuenta ahora con el compromiso reciente de la Federación de Rusia de proporcionar recursos para cinco años; esto ha aportado estabilidad al proyecto y permite una planificación a más largo plazo. Recientemente las actividades del INPRO se consolidaron en cinco esferas principales

energía nuclear pueden poner en marcha una evaluación completa o una NESAs de gran alcance.

Una NESAs con la metodología del INPRO evalúa todas las instalaciones nucleares de un determinado sistema de energía nuclear, desde la extracción hasta los estados finales de todos los desechos, comprendida la disposición permanente de los desechos de alto nivel y todas las medidas institucionales conexas. Considera el ciclo vital completo de las instalaciones nucleares ('de la cuna a la tumba'), esto es, el diseño, la construcción, la explotación y la clausura, y evalúa un sistema nuclear en las siete áreas determinadas por los creadores de la metodología, que todas juntas abarcan las dimensiones del desarrollo sostenible: la economía, la infraestructura (disposiciones institucionales), la gestión de los desechos, la resistencia a la proliferación, la protección física, el medio ambiente (repercusión de elementos estresantes y disminución de los recursos), y la seguridad tecnológica de los reactores y de las instalaciones del ciclo del combustible nuclear.

Los países con programas nucleares ya establecidos, así como los 'recién llegados' nucleares que están considerando la posibilidad de iniciar nuevos programas nucleares, pueden efectuar una NESAs para descubrir

posibles deficiencias en su programa nuclear y determinar las actividades asociadas para subsanarlas. Los objetivos son:

- 1 Los creadores de la tecnología nuclear, para evaluar su estrategia de desarrollo y despliegue a largo plazo, con objeto de confirmar que es sostenible y que tiene el equilibrio correcto de instalaciones nucleares;
- 2 Los usuarios experimentados de la tecnología nuclear, para aumentar el conocimiento de las principales partes interesadas y contribuir a la planificación estratégica y la adopción de decisiones relativas a la expansión de su sistema de energía nuclear;
- 3 Los presuntos primeros usuarios de la tecnología, para determinar las cuestiones que deben tenerse en cuenta al decidir el desarrollo paso a paso de un sistema de energía nuclear, o sea, desarrollar la infraestructura nuclear necesaria y construir una primera central nuclear.

Evaluaciones nacionales

Recientemente varios países realizaron una serie de NESAs nacionales: Argentina, Armenia, Brasil, la India, la

que constituyen también la base del plan de acción del proyecto para 2010 y 2011. Doce proyectos en colaboración apoyan las actividades, con la participación activa de miembros del INPRO.

Las esferas del programa del INPRO

Evaluaciones del sistema de energía nuclear (NESA) por medio de la metodología del INPRO

El INPRO ha superado recientemente un hito con el desarrollo y la aplicación de la metodología del INPRO, que puede ayudar a los países a evaluar de manera holística los sistemas de energía nuclear existentes y futuros, y apoya la planificación estratégica y la adopción de decisiones a largo plazo. Tras una primera serie de estudios realizados con éxito, ocho países más han manifestado interés por evaluar los sistemas de energía nuclear existentes o futuros para determinar si se ajustan a los criterios de desarrollo sostenible nacional.

Visión global de la energía nuclear sostenible

Al formular escenarios potenciales y armonizar visiones de desarrollo y despliegue nucleares globales a largo plazo, el INPRO ayuda tanto a los países recién llegados como a los 'antiguos' a entender el potencial de las innovaciones técnicas y de los nuevos planteamientos institucionales y jurídicos para desarrollar y edificar una 'arquitectura' nuclear sostenible en el siglo XXI, comprendidos los posibles escenarios de transición.

Fomento de innovaciones en tecnología nuclear

El fomento de la colaboración entre los miembros del INPRO en tecnologías nucleares innovadoras

República de Corea y Ucrania. Además, ocho países, a saber, Canadá, la República de Corea, China, Francia, la India, el Japón, la Federación de Rusia y Ucrania, investigaron conjuntamente un sistema de energía nuclear integrado por reactores rápidos enfriados con sodio con un ciclo cerrado de combustible (véase el recuadro "El ciclo cerrado del combustible nuclear en reactores rápidos").

Los estudios nacionales de NESA fueron realizados tanto por países de usuarios como de creadores de la tecnología y comprendían distintas escalas de evaluaciones. Argentina y Ucrania evaluaron la sostenibilidad de sus sistemas nacionales planificados de energía nuclear, evaluando todas las instalaciones del ciclo del combustible nuclear. Brasil, la India y la República de Corea evaluaron diseños específicos de reactor y los ciclos de combustible asociados en determinados ámbitos de la metodología del INPRO. El equipo de Brasil eligió el diseño de reactor IRIS y lo evaluó en materia de seguridad tecnológica y economía. Además, se evaluó la sostenibilidad en los aspectos de seguridad tecnológica y resistencia a la proliferación del diseño del reactor nuclear de lecho fijo (FBNR). El estudio de la India examinó la sustitución de combustible fósil por hidrógeno en el sector del transporte. El objetivo primordial del estudio

seleccionadas y la I+D conexas, que contribuyen a la energía nuclear sostenible, son actividades clave en esta esfera.

Fomento de innovaciones en disposiciones institucionales

Además del espectro completo del ciclo del combustible nuclear, las disposiciones institucionales forman también parte del sistema de energía nuclear. Esas disposiciones comprenden acuerdos, tratados, marcos o regímenes jurídicos nacionales e internacionales y convenciones. El despliegue de nuevos diseños de reactor puede requerir enfoques innovadores de las medidas institucionales, en particular para los reactores no estacionarios, de pequeño y de mediano tamaño. El INPRO fomenta la colaboración en este ámbito y apoya a los países en la formulación y aplicación de disposiciones innovadoras.

El foro de diálogo del INPRO

Esta área transversal apunta a favorecer el intercambio de información entre los poseedores de la tecnología y los usuarios de la tecnología para asegurarse de que las futuras innovaciones técnicas e institucionales cumplan las expectativas de unos y otros.

Son miembros del INPRO Alemania, Argelia, Argentina, Armenia, Belarus, Bélgica, Brasil, Bulgaria, Canadá, la República de Corea, la República Checa, Chile, China, Eslovaquia, España, los Estados Unidos de América, Francia, India, Indonesia, Italia, Japón, Kazajstán, Marruecos, los Países Bajos, Pakistán, la Federación de Rusia, Sudáfrica, Suiza, Turquía, Ucrania y la Comisión Europea.

www.iaea.org/INPRO

de Corea era realizar un análisis cualitativo para determinar el nivel de resistencia a la proliferación del ciclo de combustible DUPIC, en el que el combustible de PWR gastado se transforma en combustible nuevo para reactores CANDU. Armenia llevó a cabo una NESA fundamentalmente para familiarizar a los responsables nacionales con todas las cuestiones del programa de energía nucleoelectrónica previsto, consistente en sustituir el reactor existente por una unidad más grande hacia 2025.

El estudio conjunto examinó varios escenarios posibles mediante la elaboración de modelos de cómo las diversas tecnologías nucleares podían contribuir a desempeñar el papel más amplio de la energía nuclear y qué tipos de problemas y enfoques podrían tenerse en cuenta para permitir una fácil transición a un ciclo cerrado del combustible nuclear con reactores rápidos.

La metodología del INPRO

La metodología del INPRO se organiza en una triple jerarquía de principios básicos, requisitos del usuario y criterios, integrada por indicadores y límites de aceptación. Estos elementos se utilizan en las siete áreas de evaluación del INPRO. Un sistema de energía nuclear

El ciclo cerrado del combustible nuclear en reactores rápidos

Durante un período de dos años, ocho países han sumado sus fuerzas para evaluar con la metodología del INPRO un sistema de energía nuclear basado en un ciclo cerrado de combustible con reactores rápidos (CNFC-FR). El objetivo de este “estudio conjunto” era determinar si un CNFC-FR se ajustaría a los criterios de desarrollo sostenible, definir hitos para el despliegue de la energía nuclear y determinar áreas que requerirían una futura labor en colaboración de I+D. Los países fueron Canadá, la República de Corea, China, Francia, la India, el Japón, la Federación de Rusia y Ucrania. Como sistema de referencia se utilizó un sistema CNFC-FR a corto plazo basado en tecnologías demostradas, como refrigerante de sodio, combustible MOX en píldoras y tecnología de reprocesamiento acuoso.

Se observó de modo general que un futuro mejorado para el despliegue de la energía nuclear podría no ser totalmente coherente con la planificación nacional actual. Con el objetivo de convertir el CNFC-FR en una alternativa viable a las fuentes convencionales de energía, el estudio conjunto descubrió algunos puntos flacos en los actuales planteamientos nacionales que es preciso remediar, concretamente en relación con la economía y la seguridad tecnológica, donde hace falta más investigación para llegar a un nivel más bajo de riesgo de accidentes graves.

Es posible que el diseño de los sistemas de energía nuclear que funcionan actualmente con CNFC-FR no cumplan los requisitos de competencia económica. Simplificar el diseño, aumentar la consunción de combustible y reducir los costos por medio de una I+D específica, junto con construcciones de pequeñas series, podría hacer los costos de las centrales nucleares con reactores rápidos comparables a los de los reactores térmicos y las centrales que utilizan combustible fósil.

En algunos países, la introducción de reactores rápidos podría contribuir a una utilización eficiente de los recursos de combustible nuclear, al incrementar el uso de combustibles de plutonio y combustible de uranio desnaturalizado, que, en caso necesario, se generarían en los mantos de los reactores rápidos.

evaluado representa una fuente de energía coherente con los criterios de desarrollo sostenible de un país, siempre que se satisfagan todos los principios, requisitos y criterios. Si la evaluación apunta a una deficiencia, habría que realizar nuevos estudios de I+D.

Si no están reunidos todos los componentes, un determinado sistema de energía nuclear puede hacer una aportación importante, pero provisional, para atender las necesidades energéticas de un país o una región, pero tendrá que cambiar y evolucionar para hacerse sostenible a más largo plazo. Los resultados de una NESAs pueden servir para orientar esa evolución. ☞

Al desarrollar e introducir tecnologías nuevas para una óptima gestión de los productos de fisión nuclear y actínidos menores, el sistema de CNFC-FR tendría el potencial de un gran adelanto para cubrir todas las necesidades actuales de la gestión de desechos.

Debido a las características tecnológicas del sistema de CNFC-FR, su resistencia a la proliferación podría ser comparable o superior a la de un ciclo de combustible sin reprocesamiento. El sistema de CNFC-FR es una tecnología clave para el uso equilibrado de materiales fisibles.

Un sistema de CNFC-FR requiere un enfoque regional o multilateral de los servicios iniciales y finales del ciclo del combustible y la transición a una arquitectura nuclear global.

Como las conclusiones del estudio conjunto también pedían un enfoque interdisciplinario y colaboraciones internacionales siempre que fuera posible, como seguimiento, se pusieron en marcha varios proyectos en colaboración del INPRO que abordan las cuestiones identificadas:

- Arquitectura global de los sistemas de energía nuclear basada en reactores térmicos y rápidos, comprendido un ciclo cerrado del combustible (GAINS);
- Enfoque integrado del diseño del sistema de remoción del calor de desintegración en el caso de los reactores refrigerados por metal líquido (DHR);
- Evaluación de ciclos avanzados e innovadores del combustible nuclear en sistemas de energía nuclear en gran escala basados en el concepto de ciclo cerrado del combustible para cumplir los principios de sostenibilidad en el siglo XXI (FINITE); y
- Estudio de los desafíos tecnológicos relacionados con la eliminación de calor por metal líquido y refrigerantes de sales fundidas de los núcleos de los reactores que funcionan a altas temperaturas (COOL).

Una publicación del OIEA explica cómo llevar a cabo una NESAs utilizando la metodología del INPRO: *Guidance for the Application of an Assessment Methodology for Innovative Nuclear Energy Systems: INPRO Manual — Overview of the Methodology (TECDOC 1575 Rev.1)*.

Yuri Sokolov es Director General Adjunto del OIEA, Departamento de Energía Nuclear, y Director del proyecto INPRO. Correo-e: Y.Sokolov@iaea.org.

Randy Beatty es el Director del Grupo del INPRO en el OIEA. Correo-e: R.Beatty@iaea.org.