

# LA VISIÓN DE AREVA SOBRE LOS SISTEMAS NUCLEARES DEL FUTURO

P. GARDERET - B. GUESDON

Se espera que la energía nuclear desempeñe un papel importante en satisfacer la demanda energética del mundo, asegurando la dependencia del suministro y evitando la producción de gas invernadero. El Foro Internacional de Generación IV ha seleccionado conceptos prometedores para el futuro y organiza actualmente trabajo relevante de Investigación y Desarrollo.

Antes de que estos sistemas estén disponibles para su lanzamiento y el mercado los requiera, los Reactores de Agua Ligera (LWR) de tercera generación como el EPR, se utilizarán para recomenzar el programa nuclear con Centrales Nucleares seguras y competitivas. Se vislumbra al Reactor Supercrítico de Agua Fría (Supercritical Water Cooled Reactor) como el último paso en el progreso de desarrollo de los LWR.

Los Reactores de Alta Temperatura están actualmente en desarrollo, pueden ampliar el uso/servicio de energía nuclear a producción de hidrógeno y a otras aplicaciones de calor.

A largo plazo, se necesitan reactores generadores ya que permiten basarse en material fértil para asegurar la sostenibilidad. Se da prioridad al desarrollo industrial del Reactor Rápido de Sodio Frío (Sodium cooled Fast Reactor) porque ya existe experiencia de funcionamiento significativa. Otros sistemas, tales como el Reactor Frío de Gas (Gas Cooled Reactor) y el Reactor de Sal Fundida (Molten Salt Reactor), son tecnológicamente menos maduros y están actualmente destinados principalmente a Institutos de Investigación y no a compañías industriales.

*Nuclear energy is expected to play an important role in meeting world energy demand, securing the supply dependence and avoiding to produce green house gas. The Generation IV International Forum has selected promising concepts for the future and now organizes the relevant R&D work.*

*Before these systems be ready for deployment and be needed by the market, Light Water Reactors (LWR) of the third generation such as the EPR, will be used for restarting the nuclear program with safe and competitive NPP. The Supercritical Water Cooled Reactor is envisioned as the ultimate step in the progress of the LWRs developments.*

*The High Temperature Reactors are presently under development, they may expand the use of nuclear energy to hydrogen production and other heat application.*

*For the longer term, breeder reactors are needed as they allow to rely on fertile material for ensuring sustainability. Priority for industrial development is given to the Sodium cooled Fast Reactor because significant operating experience is already available. Other systems such as the Gas Cooled Reactor and the Molten Salt Reactor are technologically less mature and they are presently addressed mainly by Research Institutes and not by industrial companies.*

## DESAFÍOS ENERGÉTICOS Y RESURGIMIENTO DE LA ENERGÍA NUCLEAR

Dar respuesta a las necesidades de energía del mundo, limitando al mismo tiempo el impacto sobre el medio ambiente, será uno de los principales desafíos del siglo 21. La mayor parte de las previsiones están de acuerdo en prever un crecimiento rápido de la demanda mundial de energía que podría multiplicarse por dos antes de 2050, pudiendo esta progresión ser notablemente mayor para la electricidad.

Sean cuales sean las aportaciones de los ahorros de energía y de la cada vez mayor utilización de energías renovables, no serán suficientes para hacer frente al aumento de la demanda [1]. La utilización masiva de combustibles fósiles conduciría a incrementar en gran medida las emisiones de gas de efecto invernadero, tanto más cuanto que el carbón, el combustible más abundante, es también el que produce más CO<sub>2</sub>. En estas circunstancias, la evolución a medio y largo plazo de las necesidades de energía debería llevar lógicamente a un mayor recurso a la energía nuclear. Teniendo en cuenta que la industrialización de los reactores de fusión antes de finales de siglo es algo muy hipotético, los reactores de fisión deberán seguir siendo durante mucho tiempo un medio fundamental para suministrar en abundancia a la humanidad la energía limpia y barata que necesita.

ta que necesita.

La energía electro-nuclear es una industria ya madura que produce el 16% de la electricidad de todo el mundo (una tercera parte en la Unión Europea) y ofrece magníficos resultados en términos de seguridad y de competitividad. A pesar de estas ventajas, sólo en algunos países industrializados hay en proceso programas de equipamiento. No obstante, grandes naciones con un fuerte potencial de desarrollo económico (en particular China e India) tienen ambiciosos proyectos y en muchos países se empieza a considerar otra vez con interés la opción nuclear ya que el crecimiento de la demanda de electricidad sigue siendo constante.

En estas circunstancias, hay que prepararse:

- en primer lugar para un fuerte crecimiento de los programas electro-nucleares que realizarán reactores modernos, llamados de tercera generación, básicamente reactores de agua,
- eventualmente, a la aparición de nuevos mercados, en especial en lo que respecta a la producción de calor a altas temperaturas para procesos industriales (producción de hidrógeno, vapor para extracción asistida de aceite pesado ...), que utilizarán reactores adaptados a esas aplicaciones específicas,
- como resultado de todo esto, a se-

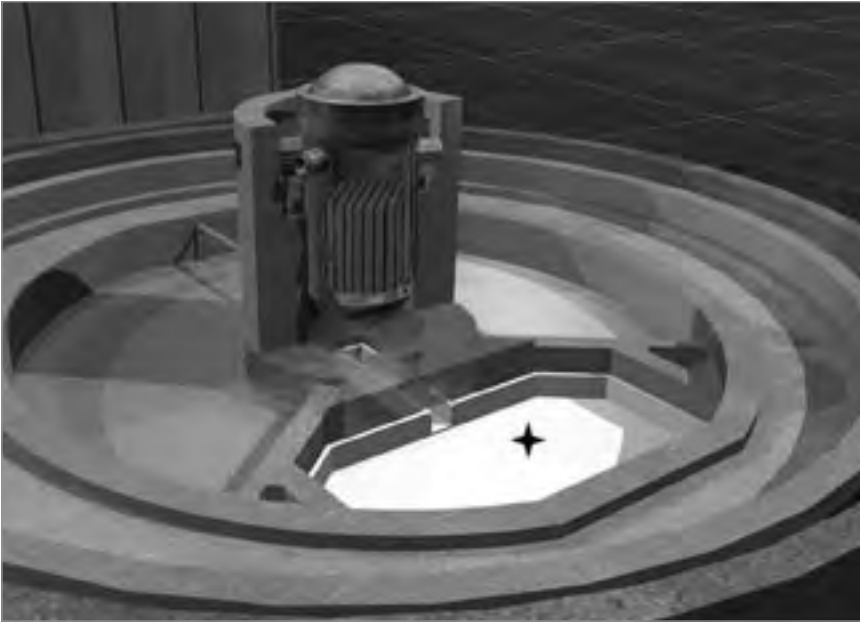


Figura 1. EPR - En caso de accidente que provoca la fusión del núcleo, se recogerá el corio que fluya del depósito y se derramará de forma pasiva en un local específico (TM) del edificio reactor en el que se procederá a su enfriamiento.

guir manteniendo la opción nuclear con tecnologías que permitan la plena valorización de los recursos en materia fértil gracias a la sobre-generación, uno de los ejes principales del desarrollo de los reactores de cuarta generación.

A partir de una evaluación sistemática de los resultados potenciales sobre la economía, del desarrollo sostenible, de la seguridad y de la no-proliferación el "Foro Internacional de 4ª Generación" ha seleccionado seis conceptos de sistemas considerados particularmente interesantes para el futuro [2]. Estos conceptos no son del todo nuevos pero han adquirido un nuevo interés con la evolución de las tecnologías (materiales refractarios, instrumentos de cálculo del núcleo). Su desarrollo debería ser objeto de importantes colaboraciones internacionales.

Se espera que fuertes innovaciones tecnológicas permitan garantizar la viabilidad de estos sistemas, pero dichas innovaciones, atractivas por los potenciales que permiten esperar concretar, no son en absoluto planificables. Más adelante, una fase de validación de los resultados técnicos y económicos precederá la realización de demostradores de las vías seleccionadas. Sólo después se entrará en fases industriales con la realización de un prototipo, de una cabeza de serie y por último, en caso necesario, de un despliegue de masa. Es probable que el carácter innovador de los sistemas de 4ª generación conduzca a un tiempo global de desarrollo importante y las primeras aplicaciones industriales no están

previstas hasta 2040. Su desarrollo podría no producirse hasta mucho después, en función de las necesidades reales de los mercados.

### LOS REACTORES DE AGUA LIGERA (RAL)

Esta tecnología constituye la parte fundamental del actual parque electro-nuclear mundial y debería ocupar un lugar preeminente tanto para la renovación de ese parque, como prevé EDF en Francia [3], como para la instalación de nuevas capacidades de producción electro-nuclear, a semejanza de la elección de la compañía eléctrica finlandesa TVO o del plan de equipamiento previsto en China.

Areva ofrece actualmente dos modelos de RAL de tercera generación, el EPR, reactor de agua presurizado con una potencia de aproximadamente 1600 MWe, y el SWR 1000, reactor de agua en ebullición con una potencia del orden de 1200MWe. Su concepción se basa en la experiencia derivada de la explotación de centrales existentes pero integra también importantes innovaciones en materia de seguridad: drástica reducción del peligro de fusión del núcleo y consideración de éste para evitar consecuencias significativas fuera de la central, protección contra las agresiones externas... Ambos modelos cumplen los requisitos de las eléctricas europeas (European Utility Requirements for LWR Power Plants).

El SWR 1000, que ha sido desarro-

llado en colaboración con compañías de electricidad alemanas y con la asistencia de socios europeos, pone también parcialmente en funcionamiento sistemas innovadores de seguridad pasiva.

El EPR, desarrollado desde principios de la década de los 90 en el marco de una cooperación europea a gran escala, se encuentra ahora inmerso en una fase de realización industrial:

- El gobierno finlandés expidió el 17 de febrero de 2005, la "licencia de construcción" para Olkiluoto 3, lo que permitió colar los primeros hormigones en la primavera de 2005. Su puesta en servicio está prevista para la primavera de 2009.

- Flamanville 3 en Francia será la franja cabeza de serie del futuro programa nuclear de EDF. Se prevé obtener el primer hormigón en 2007 y realizar la puesta en servicio industrial en 2012.

EPR es objeto de una propuesta comercial en China asociado a un traspaso de tecnología amplio que podría servir de base al desarrollo del programa nuclear chino. También se ha decidido iniciar las gestiones para certificar el EPR en Estados Unidos con la perspectiva de una reactivación del sector nuclear norteamericano que se espera tenga lugar en 2010- 2015.

El EPR dispone de sólidas bazas para imponerse en los futuros mercados. Su concepción evolutiva saca provecho de toda la experiencia adquirida en el parque de reactores de agua a presión (RAP) existente, dinámica que responde a los requisitos de las Autoridades de Seguridad francesa y alemana así como a las de las compañías eléctricas europeas.

Se trata de un producto:

- seguro, las disposiciones adoptadas desde su concepción para limitar las consecuencias de posibles secuencias de accidentes de fusión del núcleo permiten evitar la evacuación de la población fuera de la central, algo que también deberá facilitar la elección de las centrales;

- potente y competitivo, el tamaño es el principal medio para reducir los costes específicos, tanto del kilovatio eléctrico instalado (kW<sub>i</sub>), como del kWh producido (-10% con respecto a las centrales más recientes);

- con poco impacto medioambiental, en términos de implantación para la elección de centrales, los procedimientos administrativos o el impacto socio-económico, un reactor de gran potencia es comparable a uno mucho más pequeño, algo que resulta tanto más



Figura 2. EPR - El hormigón de las fundaciones se cuela en Olkiluoto.



La ubicación del próximo EPR está reservada en la central de Flammanville.

copyright EDF, Hjalary Gérard

interesante cuanto que las centrales nucleares son cada vez más escasas.

Además de los reactores de agua de tercera generación, el reactor de agua supercrítica puede ser considerado como el resultado final de los desarrollos de los sistemas nucleares de generación de vapor, tendiendo a mayores presiones y temperaturas más altas.

Podrá sacar provecho de la tecnología de las calderas "clásicas" de agua supercrítica para la parte convencional y de las innovaciones estudiadas para concebir el reactor de agua en ebullición SWR 1000.

Los puntos clave del desarrollo tecnológico hacen referencia al desarrollo de materiales (mantenimiento bajo radiación en presencia de agua en condiciones supercríticas), a la concepción del núcleo (control de la reactividad) y del control de los procesos transitorios accidentales por parte de los sistemas de protección.

Areva participa en cooperación, concretamente con FZK (Karlsruhe) y el CEA, en trabajos tendentes a comprender mejor el carácter factible y la economía de este concepto.

**EL REACTOR A ALTA TEMPERATURA: HIGH TEMPERATURE REACTOR (HTR) LA AMPLIACIÓN DE LAS APLICACIONES DE LA ENERGÍA NUCLEAR**

El HTR utiliza combustible de partículas, grafito como moderador y helio como transmisor de calor. En un primer momento, se buscan temperaturas de salida del núcleo del orden de 850° C, pero se prevé una versión a

una temperatura muy alta (Very High temperature Reactor o VHTR) que podría suministrar calor a aproximadamente 1.000° C, siempre que haya un mercado real para procesos que utilicen calor a tales temperaturas y siempre que las tecnologías, en especial para el combustible y los materiales de estructura, hayan progresado lo suficiente.

Los desarrollos realizados en los años 60 y 70, principalmente en Estados Unidos y en Alemania, permitieron validar la factibilidad del concepto y los resultados del combustible, pero los HTR no resultaron ser competitivos en ese momento. Las necesidades potenciales de calor para los procesos industriales y los avances en tecnología (materiales resistentes a altas temperaturas, turbinas de gas), así como las atractivas características de seguridad de los HTR, obligan a volver a tener en consideración esta opción.

La extraordinaria dureza de las partículas de combustible capaces de soportar temperaturas muy altas, la gran inercia térmica del núcleo, la fuerte disminución de la reactividad en caso de aumento de temperatura y el refrigerante químicamente inerte permiten concebir reactores de potencia limitada que sigan siendo seguros en caso de accidente sin que sea necesario poner en práctica sistemas de protección activos.

Esos reactores de potencia media con un combustible considerado más resistente a la proliferación podrían encontrar asimismo un mercado en los países emergentes.

Se han desarrollado dos familias de reactores:

- los reactores "de bolas" en los que el combustible desciende progresivamente al núcleo por la fuerza de gravedad con una carga/descarga permanente durante el funcionamiento,

- los reactores llamados "de bloques prismáticos" en los que el combustible está situado en bloques de grafito que se cargan y descargan cuando el reactor está parado.

Estas dos familias cuentan con dos familias de bloques tecnológicos comunes y pueden ser objeto de sinergias en la fase de desarrollo, en especial para las partículas de combustible, las instalaciones de pruebas de la tecnología helio y el comportamiento de los materiales a alta temperatura. Numerosos países europeos trabajaron entre 1960 y 1980 en las tecnologías HTR y la I+D de HTR/VHTR cuenta con el apoyo europeo en el marco del programa RAPHAEL actualmente en proceso.

La configuración prismática permite en principio una mayor densidad de potencia y una mayor potencia unitaria, lo que permite esperar una mejor economía. Por eso Areva la ha seleccionado para su proyecto ANTARES cuyo objetivo es una producción mixta de calor y electricidad. Prevé una mayor potencia (600 MWth) y una temperatura que puede llegar a 950° C. Este estudio es objeto de un programa muy activo con el CEA, concretamente en lo que respecta al desarrollo y a la calificación de instrumentos de cálculo para la concepción, de combustible, de materiales, de cambiadores de calor compactos de gran potencia. Hay importantes instalaciones de prueba



Figura 3. Proyecto ANTARES: reactor VHTR de ciclo indirecto para la producción mixta de calor y electricidad.

en proceso de desarrollo para responder a las necesidades del programa, en particular curvas de pruebas de Helio y dispositivos de irradiación para el combustible y los materiales

El objetivo es contar con un concepto para finales de 2008 que permita prever el desarrollo de un prototipo para 2020.

Areva compagina su dinámica de desarrollo tecnológico con una valoración económica y de las necesidades de los clientes potenciales y vela por mantener una coherencia entre el desarrollo de los reactores y del ciclo de combustible asociado.

El combustible de los reactores (HTR/VHTR) utiliza uranio enriquecido de 10 a 20%, lo que implica adaptar las instalaciones del ciclo de combustible tanto en la parte inicial del reactor como en la parte posterior. Teniendo en cuenta que el combustible descargado tiene un contenido residual considerable en materia fisible (aproximadamente el 3%), y con el objetivo de una correcta utilización de los recursos de materia fisible, es conveniente prever su posible reciclaje y desarrollar los procesos de nuevo tratamiento adaptados que contribuirán asimismo a reducir las cantidades de residuos finales.

El hidrógeno puede servir de forma directa o indirecta como carburante para el transporte.

Los procesos de producción de hidrógeno por descomposición termoquímica o electroquímica del agua están

aún por desarrollar e industrializar. Los HTR o VHTR tendrán que confirmar que representan la tecnología más capacitada para cumplir las especificaciones impuestas por los procesos puestos en práctica.

### **LA ECONOMÍA DE RECURSOS, EL RECURSO A LOS REACTORES REPRODUCTORES**

Los reactores de neutrones térmicos, independientemente de cuál sea su tipo, consumen apenas un 1% del uranio natural que se extrae. Si se utilizan de forma masiva, los recursos de uranio natural barato serán cada vez más escasos, en cuyo caso será imprescindible recurrir a reactores iso-generadores o sobre-generadores.

Nadie puede predecir de forma precisa cuándo ocurrirá eso. La evaluación de los recursos accesibles está marcada por grandes incertidumbres, y las previsiones relativas al consumo de energía, su crecimiento y la cuota relativa de la energía nuclear presentan una gran dispersión debida a las numerosas hipótesis en las que se basan los escenarios analizados. No obstante, sobre la base de escenarios semejantes, parece posible que antes de finales de siglo se produzca una penuria relativa de uranio, lo que llevará a desarrollar reactores sobre-generadores a partir de mediados de siglo, tal vez incluso antes, en caso de aceleración del ritmo de desarrollo de los sistemas nucleares.

Existen distintas soluciones que permiten reducir el consumo de uranio natural de los reactores de neutrones térmicos, como la utilización de uranio de tratamiento enriquecido o el reciclaje de plutonio. Tal vez podrían retrasar una o dos décadas el momento en que se agoten los recursos conocidos y fácilmente accesibles de uranio, pero no cambiarán en modo alguno la necesidad de desplegar a largo plazo reactores reproductores.

### **¿CUÁLES SERÁN LOS REACTORES REPRODUCTORES DEL FUTURO?**

Hay muy pocas opciones que sean potencialmente reproductoras: los reactores de neutrones rápidos (RNR) que funcionan siguiendo el ciclo  $U238 \rightarrow Pu239$  o eventualmente el  $Th232 \rightarrow U233$  y algunos reactores de neutrones térmicos concebidos específicamente y que utilizan torio.

Los RNR de combustible U-Pu cuentan con importantes bazas: en el ámbito nacional e internacional hay ya una experiencia real de puesta en práctica; el U238 está disponible en grandes cantidades y el plutonio necesario para su puesta en marcha se encuentra en cantidades significativas en los combustibles usados actualmente en depósito. También se controlan industrialmente procesos de fabricación y de tratamiento de los combustibles, aún cuando es posible prever otros procesos, tal vez con mejores resultados.

En cuanto surja la necesidad de recurrir a la sobre-generación, los RNR de combustible U-Pu serán sin duda la solución menos compleja para aplicar en el ámbito industrial. Además ofrece mejores perspectivas que los reactores térmicos de neutrones para optimizar la gestión de residuos radioactivos en la fuente, y los grandes flujos de neutrones rápidos en el núcleo favorecen la incineración de los actínidos menores in situ.

Por su parte, la utilización de torio obligaría a invertir en el desarrollo y la realización de instalaciones totalmente nuevas para todo el ciclo de combustible. La barrera económica que representa un gasto como éste es muy importante.

### **LOS RNR DE METAL LÍQUIDO**

Los valores de las secciones eficaces son limitados para neutrones rápidos, por lo que hay que concebir el núcleo de un RNR con una fuerte concentración volúmica de material fisi-

ble, y para evitar un núcleo demasiado grande que requeriría grandes cantidades de material fisible; se tiende a potencias específicas elevadas. En estas circunstancias hay que garantizar una refrigeración eficaz. Para mantener un espectro neutrónico lo suficientemente rápido, se excluyen los líquidos transmisores de calor que contengan núcleos muy ligeros como el hidrógeno, y en particular el agua

En teoría, un reactor de agua supercrítica de neutrones rápidos podría funcionar, pero representaría pocas ventajas con respecto a otras alternativas refrigeradas de sodio o de gas a cuyos estudios se da prioridad.

Entre los conceptos seleccionados en Gen IV, los RNR de sodio disponen de la mayor experiencia de explotación pre-industrial. Sin embargo, se deberán aportar grandes evoluciones antes de su industrialización:

- un mayor control de los riesgos de accidentes de reactividad, especialmente en lo que respecta a la purga del transmisor de calor y a las perturbaciones de la geometría del núcleo,
- avances en las técnicas de inspección de los componentes sumergidos en el sodio líquido y, eventualmente, de reparación,
- una la concepción de conjunto simplificada que permite una reducción significativa de los costes de inversión y de explotación.

Por otra parte, el ciclo de combustible también deberá ser objeto de desarrollo para acelerar "el tiempo de ciclo" y reducir por tanto los costes.

Areva dispone de una sólida experiencia sobre los reactores rápidos de sodio y quiere garantizar el mantenimiento de su avance tecnológico participando, en el marco de colaboraciones nacionales o internacionales, en desarrollos concretos sobre los principales puntos a mejorar con respecto a las concepciones anteriores.

### ¿Y EL LFR (LEAD FAST REACTOR)?

Los Soviéticos desarrollaron para sus submarinos reactores refrigerados con plomo. Ese concepto ha sido seleccionado en Gen IV. No obstante, a pesar de las ventajas reales del plomo frente al sodio en términos de reactividad química, no permite resolver con mayor facilidad los problemas planteados por la inspección en servicio y plantea auténticos desafíos en términos de resistencia de los materiales de estructura y de carga mecánica de las

estructuras.

La experiencia de la comunidad nuclear occidental sobre este concepto es limitada, lo que hipoteca sus perspectivas de desarrollo, que no son por tanto prioritarias con respecto al sodio.

### LOS REACTORES RÁPIDOS REFRIGERADOS DE GAS: GAS-COOLED FAST REACTOR (GFR)

El GFR, reactor de neutrones rápidos y de transmisor de calor, es un sistema muy innovador para el que no se ha construido ningún demostrador, por lo que a día de hoy su factibilidad aún no está del todo probada.

Los beneficios aportados por la utilización del helio como transmisor de calor son considerables:

- buena compatibilidad con el aire y el agua,
- la transparencia facilita la inspección de las estructuras internas,
- muy poca interacción con los neutrones, al tener el drenaje muy poca influencia sobre la reactividad del núcleo, lo que reduce el riesgo de accidente de reactividad.

Esta tecnología podría permitir asimismo alcanzar una temperatura muy elevada (equivalente a la del HTR), aunque ésta no sea necesariamente la principal motivación de su desarrollo.

En contrapartida, la inercia térmica del núcleo y del refrigerante es muy escasa, lo que conduce a un aumento rápido y considerable de la temperatura en caso de pérdida de refrigeración.

Aún quedan por solucionar algunas cuestiones tecnológicas de importancia:

- el combustible que tiene que ser al mismo tiempo denso, refractario y de fácil refrigeración y soportar además altos niveles de combustión,
- los materiales de estructura para el núcleo que tienen que resistir al mismo tiempo las altas temperaturas y los daños causados por los neutrones rápidos,
- la gestión de las situaciones de accidente, y en particular el accidente de despresurización,
- el ciclo de combustible cuyos procesos deberán permitir reciclar al menos el uranio y el plutonio.

Existen grandes sinergias entre el desarrollo del HTR/VHTR y el del GFR, en lo que respeta a los materiales y componentes a altas temperaturas para el circuito primario, a la tecnología de los circuitos de helio y al sistema

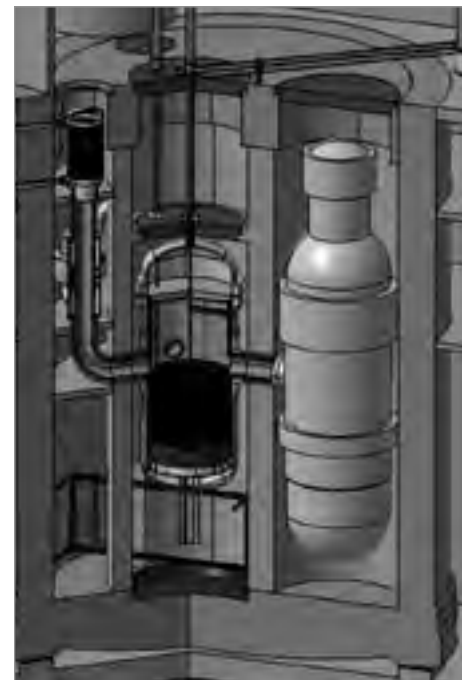


Figura 4. GFR – Para facilitar la evacuación del calor residual por convección natural, una solución propuesta es instalar una cavidad hermética y presurizable lo más cerca posible del circuito primario.

de conversión. Lo que lo divide en dos etapas de una misma "gama de sistemas de transmisor de calor de gas" derivada de las tecnologías HTR: el desarrollo de materiales que resistan las altas temperaturas para el combustible y los materiales del núcleo.

Los trabajos sobre el GFR son objeto de una acción específica (GCFR) en los programas marco 5 y 6 de I+D europeos. Estos trabajos refuerzan la cooperación sobre el GFR en el marco del Foro Generación IV. Se debería tener una respuesta sobre la factibilidad y los resultados GFR hacia 2015-2020, y a continuación decidir eventualmente realizar un demostrador.

En esas fases de investigación, aún muy incipientes, la implicación de un industrial es lógicamente menor que en los sistemas cuyas fechas de vencimiento operativo están más próximas. No obstante, Areva es miembro del programa europeo de I+D sobre este proyecto y aporta por tanto, como es natural, su apoyo a los trabajos del CEA.

### LOS REACTORES DE SALES FUNDIDAS: MOLTEN SALT REACTOR (MSR)

La factibilidad de los reactores de sales fundidas quedó demostrada con los tests realizados en los años 50 y

60. Este sistema se adapta particularmente a la instalación de torio, ya que es el único concepto que permite ser sobre-generador en espectro térmico, con un reducido inventario de materia fisible en el núcleo con respecto a todos los tipos de reactores de neutrones rápidos.

La industrialización del MSR exige encontrar una solución a los desafíos tecnológicos (los materiales, el combustible) y exige sobre todo que se lleve a realizar una concepción viable y al mismo tiempo económica del reactor y del taller de control de la química y de tratamiento del combustible, y que una vez acoplados se pueda poner en marcha el conjunto en condiciones técnicas y económicas aceptables para el empresario.

Por el momento los trabajos se inscriben en un marco europeo (acción MOST), destinado a ampliarse en el Foro Forum Gen IV y hacen referencia principalmente a todos los aspectos que permiten evaluar la posibilidad de alcanzar de forma efectiva la regeneración del combustible fisible, así como a la tecnología de los circuitos que vayan a contener los fluoruros fundidos.

Es innegable que este concepto parece ser muy atractivo pero su futuro parece muy lejano, especialmente en un contexto de utilización de torio. En esta fase los desarrollos interesan principalmente a los Institutos de investigación, y es demasiado pronto para que un industrial se implique de forma concreta.

Cabe destacar que en los reactores a alta temperatura se puede prever la utilización de sales fundidas para sustituir el helio como transmisor de calor. En tal caso se podría concebir un reactor de ciclo indirecto con un circuito primario de baja presión y con una densidad de potencia del núcleo mucho mayor, lo que mejora su competitividad. El primer punto clave para un concepto de tales características es la posibilidad de concebir un núcleo que tenga un coeficiente de drenaje negativo. Areva trata de valorar la viabilidad de esa solución.

### **LAS CLAVES DEL ÉXITO**

Para garantizar el resurgimiento de los sistemas nucleares, es necesario en primer lugar haber completado los primeros proyectos y que su explotación resulte atractiva. Esto permitirá a los RAL de tercera generación, al igual que al EPR, dar respuesta a las necesidades de numerosas compañías eléctricas, y seguir desarrollando su tecnología basándose en la explotación del

intercambio de experiencias y a través de una política de innovación permanente. La parte fundamental de los desarrollos se dedicará a adaptarlos a los distintos mercados.

Con un vencimiento más lejano, con el fin de prolongar esa acción con una perspectiva de desarrollo sostenible a muy largo plazo, y ofrecer a los clientes de energía una flexibilidad considerable para sus programas de equipamiento, se deberá diversificar la oferta sobre la base de sistemas Generación IV que incluyan importante innovaciones tecnológicas, velando por mantener una buena coherencia entre el despliegue de esos reactores y la puesta en funcionamiento de fábricas de ciclo de combustible adaptado a tales reactores.

La viabilidad económica de estos sistemas estará en parte condicionada por el referencial de seguridad y el sistema de códigos y normas aplicables: un acompañamiento continuo de la elaboración de ese referencial de seguridad para los distintos conceptos resulta imprescindible para optimizar tales exigencias. La consecución de un consenso internacional favorecerá el surgimiento y la comercialización de cualquier nueva alternativa.

Las importantes innovaciones buscadas por los sistemas de 4ª generación hacen necesarios ambiciosos programas de I+D para desarrollarlas. Habrá que basarse en las competencias y

medios de prueba de los organismos de investigación, en un esfuerzo de desarrollo internacional. Esto ayudará a mantener la motivación y el dinamismo en todos los socios.

Para hacer posible este resurgimiento de la energía nuclear, hace falta que los industriales estén en condiciones de proponer a sus clientes potenciales y en el momento adecuado sistemas nucleares adaptados a sus necesidades, es decir, no sólo reactores sino también todas las etapas del ciclo de combustible correspondiente. Por lo tanto, hay que velar por garantizar una complementariedad adecuada entre el despliegue de sistemas de tercera generación y los programas de investigación "Generación IV" para que la madurez industrial de los sistemas se corresponda con las necesidades de los usuarios.

### **REFERENCIAS**

[1] Towards a european strategy for the security of energy supply Green Paper - European Commission - November 2000

[2] A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems (Dec. 2002) - GIF-002-00

Issued by the U.S.DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generación IV International Forum

[3] EDF y el sistema nuclear del pasado - Síntesis (Dic. de 2004) - Jean-Michel Delbecq, Jean-Loup Rouyer y al.



Philippe GARDERET entró en la CEA francesa en el año 1972 como investigador de procesamiento de señales, imágenes digitales y arquitectura electrónica de procesadores. En el año 1987, fue designado jefe del departamento de instrumentación electrónica y nuclear. Posteriormente, ocupó el puesto de Director de Estrategia y Evaluación y luego de Director de Recursos Humanos y Relaciones Laborales en CEA-Saclay. Se incorporó al Grupo AREVA como primer vicepresidente para la Innovación y Tecnologías Emergentes, estando a cargo de la I+D y la innovación para este Grupo.



Bernard GUESDON se incorporó a la empresa Framatome en el año 1973 como Ingeniero de Diseño Nuclear. Trabajó en varios emplazamientos PWR como ingeniero de pruebas nucleares de puesta en marcha. Posteriormente, le nombraron Director del Grupo de Diseño Nuclear, y más tarde Jefe de la Organización de Respuesta en Emergencia y Director del Departamento de Seguridad Nuclear de Framatome. Desde el año 2004 es Director del Grupo de Proyectos Avanzados de Innovación de Framatome ANP, siendo responsable de los programas de I+D relacionados con los conceptos de reactores avanzados.