ciências

O futuro da energia nuclear

ANTONIO TEIXEIRA E SILVA

Saúde

ANTONIO TEIXEIRA E SILVA é gerente do Centro de Engenharia Nuclear do Ipen-CNEN/SP.

A preservação do meio ambiente gerando a necessidade de fontes energéticas livres das emissões de gases do efeito estufa tem renovado o interesse na utilização da energia nuclear na geração de eletricidade. A geração de eletricidade é responsável por 16% das emissões mundiais de dióxido de carbono (CO_2). Para os países industrializados, essa proporção é ainda maior. A demanda por eletricidade é fortemente dependente dos combustíveis fósseis, com carvão a 39%, gás a 17% e óleo a 8%, enquanto hidro e nuclear respondem, respectivamente, por 17% e 16% dessa geração. As renováveis são mínimas. A dependência mundial de combustíveis fósseis tende a se intensificar. Carvão produz uma quantidade de CO_2 duas vezes maior do que gás e óleo, enquanto hidro e as renováveis produzem muito menos CO_2. A energia nuclear produz apenas 0,4% da quantidade produzida pelo carvão.

Energia é essencial para o desenvolvimento. Não se pode negar aos países em desenvolvimento a chance de melhorar o seu padrão de vida. Também é importante considerar a distribuição global de energia. Aproximadamente, 1,6 bilhão de pessoas vivem sem acesso à eletricidade e 2,4 bilhões utilizam a biomassa tradicional, pois não têm acesso aos combustíveis modernos. O aumento do consumo mundial de energia na velocidade hoje prevista,

utilizando as reservas de combustíveis fósseis, irá aumentar as emissões de CO_2 muito acima dos níveis sustentáveis. Naturalmente, a energia nuclear não é a única solução para a redução desses níveis, mas é muito provável que num futuro próximo irá desempenhar um papel cada vez mais importante nessa mistura energética global.

GERAÇÃO NÚCLEO-ELÉTRICA NO MUNDO

Em 2007, segundo fontes da Agência Internacional de Energia Atômica (Aiea), 438 reatores nucleares de potência, projetados para a produção de energia elétrica, estão em operação em 31 países, totalizando uma capacidade instalada de 371.773 MW elétricos e fornecendo aproximadamente 16% da energia elétrica mundial. Essa porcentagem tem sido mantida desde 1986, indicando que a energia nuclear cresceu nos últimos vinte anos na mesma velocidade da geração elétrica no mundo. Atualmente, 12 países utilizam usinas nucleares para gerar mais do que um terço da energia elétrica que consomem.

A utilização da energia nuclear tem se concentrado nos países desenvolvidos. Entretanto, em termos de novas construções, o caminho está sendo diferente. Das 30 usinas nucleares em construção 16 estão em países em desenvolvimento, sendo a maioria centrada na Ásia. Segundo a Aiea, a China tem quatro usinas nucleares em construção e planeja quintuplicar a sua geração de energia elétrica nos próximos quinze anos. A Índia tem sete plantas nucleares em construção e planeja multiplicar por sete a sua capacidade de geração até 2022. Japão, Paquistão e Coréia do Sul também planejam expandir a sua capacidade de geração de energia nuclear. O Vietnã pretende iniciar a construção de sua primeira usina nuclear em 2015. A Indonésia planeja construir duas usinas nucleares de 1.000 MW elétricos. Em junho de 2007, a Autoridade de Geração de Energia da Tailândia anunciou planos de construir duas usinas nucleares a partir de 2015.

O Brasil possui atualmente duas usinas nucleares em operação, Angra 1 e Angra 2, equipadas cada uma com um reator nuclear PWR (sigla em inglês para *pressurized water reactor*, reator refrigerado a água pressurizada, o tipo mais utilizado no mundo). Esse tipo de reator deverá equipar também uma terceira usina nuclear, Angra 3. As três usinas formam o Complexo Nuclear Almirante Álvaro Alberto, localizado na Praia de Itaorna, município de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro. A usina nuclear Angra 1 foi adquirida em 1972 pelo governo brasileiro junto à empresa norte-americana Westinghouse Electric Corporation. Angra 1 entrou em operação em 1982. A potência total do reator alcança 1.876 MW térmicos, a partir da qual são gerados 657 MW elétricos. A usina nuclear Angra 2 foi a primeira que resultou do Acordo Nuclear Brasil-Alemanha, assinado em 1975. Angra 2 entrou em operação em 2000. A potência total do reator alcança 3.765 MW térmicos, a partir da qual são gerados 1.354 MW elétricos. Angra 1 e Angra 2 em conjunto fornecem aproximadamente 45% da energia elétrica consumida atualmente no estado do Rio de Janeiro e respondem por 3,3% da energia elétrica produzida no Brasil. A usina nuclear Angra 3, cuja retomada da construção foi aprovada pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) no dia 25 de junho de 2007, será a segunda que resultou do Acordo Nuclear Brasil-Alemanha. O projeto de Angra 3 é semelhante ao de Angra 2.

O Plano Nacional de Energia 2030 (PNE-2030) prevê a necessidade de pelo menos mais quatro usinas nucleares, além de Angra 3, mas existe a possibilidade de serem construídas até oito usinas adicionais, com capacidade de gerar 1.000 MW elétricos cada. De acordo com esse planejamento, a participação da energia nuclear na matriz energética nacional poderia saltar para até 5,6%.

A retomada do empreendimento da usina nuclear Angra 3 tem sido analisada e estudada em seus vários aspectos técnicos,

incluindo custo, tarifa, segurança, impacto ambiental e infra-estrutura. O Brasil possui a sexta maior reserva de urânio do mundo com somente um terço do seu território prospectado, além de dominar a tecnologia do ciclo do combustível, condição privilegiada de poucos países no mundo. A conclusão dessa usina é importante para atender à demanda energética brasileira a partir de 2013, além de garantir a auto-suficiência das empresas do setor nuclear brasileiro.

O aumento de interesse na energia nuclear não está limitado ao Brasil e à Ásia. Outros países como a Jordânia e a Turquia estão pensando e planejando seriamente a sua introdução em programas de energia nuclear e muitos outros como a Argentina, Bulgária, Cazaquistão e África do Sul estão considerando a expansão dos seus programas. Nos próximos meses, segundo a página disponível na rede mundial de computadores http://www.economist.com, em seu artigo "Atomic Renaissance", a Comissão Regulatória Nuclear dos Estados Unidos (U.S.-Nuclear Regulatory Comission) espera receber 12 pedidos de licença para construção de novos reatores nucleares em sete diferentes localidades. Ela também está preparada para receber outros 15 pedidos em 11 localidades no próximo ano. Estes serão certamente os primeiros pedidos de construção de novas plantas nucleares nos Estados Unidos depois de trinta anos. Se esses pedidos forem bem-sucedidos, o número de reatores nucleares nesse país (104 usinas correspondendo a 19,4% do total da energia elétrica gerada) irá aumentar de aproximadamente um terço. Os novos reatores terão potências mais elevadas do que os antigos, o que ampliará a participação da energia nuclear na matriz energética norte-americana.

VIABILIZANDO O FUTURO

Para muitos países, a energia nuclear foi um caminho para garantir a segurança e a diversidade de seus suprimentos de energia. Nos anos 70, a preocupação com a falta do fornecimento de petróleo foi a causa mais importante da expansão da energia nuclear em países como a França e o Japão. Hoje, a França tem 78% de sua energia elétrica gerada por reatores nucleares e o Japão, 30%. Diversificar as fontes e os fornecedores é essencial contra possíveis flutuações nos preços dos combustíveis fósseis e na falta de suprimento devido às potenciais instabilidades das relações políticas com grandes produtores de gás natural e óleo.

Outro fator importante que tem direcionado o interesse na energia nuclear é o seu desempenho. A energia nuclear é uma tecnologia madura, com mais de meio século de experiência operacional. Nos últimos vinte anos, melhorias significativas foram introduzidas na confiabilidade das usinas nucleares, assim como na redução dos seus custos operacionais e no aumento da segurança. Muitos países, industrializados e em desenvolvimento, acreditam que um aumento na utilização da energia nuclear será atingido caso se tenha um suprimento confiável. Eles também acreditam que a energia nuclear pode ser utilizada agora e no futuro para atender a uma demanda crescente por energia econômica, segura, com fornecimento de longo prazo e sem impactos ambientais adversos.

Para continuar viável como fonte de energia, os novos projetos de sistemas de energia nuclear, que incluem o reator nuclear e seus sistemas e o ciclo do combustível, devem atender aos desafios impostos de fornecer no futuro: 1) um rejeito nuclear gerenciável, uma utilização mais efetiva do combustível e um aumento nos benefícios ambientais; 2) economia competitiva; 3) segurança reconhecida; e 4) resistência à proliferação e proteção física.

O armazenamento do combustível usado e de outros resíduos radioativos de alta atividade em um repositório geológico tem sido a escolha feita por muitos países. Instalações de armazenamento temporário de longa duração, localizadas acima e abaixo da superfície, com possibilidade de recuperação do combustível usado ou dos resíduos radioativos ali dispostos, têm sido também avaliadas no mundo. Entretanto, o

uso extensivo da energia nuclear no futuro irá requerer melhorias no gerenciamento de espaço nos repositórios e a consideração do ciclo do combustível fechado.

Hoje, a maioria dos países utiliza o ciclo do combustível nuclear aberto (*once-through fuel cycle*), enquanto outros operam num ciclo fechado através de um processo denominado reciclagem (*recycling*). A reciclagem recupera o urânio e o plutônio do combustível usado e utiliza o plutônio para fabricar um novo combustível de óxido misto de urânio e plutônio. Reciclar de maneira a não produzir separadamente o plutônio do urânio pode, além disso, evitar risco de proliferação de armas nucleares.

Outro ciclo em consideração é aquele dos reatores rápidos, com reprocessamento, em um ciclo do combustível fechado balanceado, que significaria a operação dos reatores nucleares térmicos atuais no *once-through fuel cycle* e um número balanceado de reatores nucleares rápidos que destruiriam os actinídeos separados do combustível usado nos reatores térmicos. Os reatores nucleares rápidos e as unidades de reprocessamento e fabricação do combustível seriam construídos no mesmo local para evitar a proliferação de armas nucleares.

Nos padrões atuais, a reciclagem tem sido considerada antieconômica, devido ao fornecimento em grande escala de urânio a preços baixos e estáveis. Isso deverá mudar no futuro, favorecendo a utilização dos ciclos fechados. Este último traz ainda outros benefícios: os resíduos radioativos de alta atividade ocupam um volume menor, são menos tóxicos e podem ser processados de forma mais apropriada para o armazenamento.

Em termos econômicos, o custo da geração de eletricidade por intermédio da energia nuclear tem sido, em alguns países, os mesmos ou menores que os custos para a geração por carvão e gás natural. Apesar de gerar eletricidade a custos competitivos, os custos para a construção de uma usina nuclear são mais elevados. Novas pesquisas são necessárias para reduzir os custo de capital e o tempo de construção. Crédito de emissão de carbono pode dar à energia nuclear uma vantagem competitiva no custo.

Em termos de segurança, os projetos de reatores modernos podem atingir um risco muito baixo de acidentes sérios, mas melhores práticas na construção e na operação estão sendo consideradas essenciais. A confiança do público precisa ser aumentada. Os materiais físseis dentro dos programas nucleares civis são salvaguardados por um sistema internacional. As novas plantas incorporam projetos robustos com precauções contra atentados terroristas. É desejável que, para os futuros ciclos do combustível e para a salvaguarda dos materiais nucleares, as novas usinas sejam projetadas com elevado grau de resistência ao desvio de materiais físseis e à produção não declarada dos mesmos. As futuras plantas nucleares devem também fornecer melhor proteção física contra ameaças terroristas.

As questões acima têm sido debatidas principalmente dentro de dois grandes programas internacionais: Generation IV e Impro (Internacional Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles).

O programa Generation IV, coordenado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (U.S.-DOE), consiste de uma cooperação internacional na pesquisa e desenvolvimento de uma futura geração de sistemas de energia nuclear conhecida como de Geração IV. A Geração I foi a dos protótipos de reatores nos anos 50 e 60. A Geração II começou nos anos 70, com as primeiras usinas nucleares comerciais que ainda estão em operação. A Geração III foi desenvolvida mais recentemente, nos anos 90, com alguns projetos evolucionários que oferecem avanços na segurança e na economia da usina, e estão sendo construídos na Ásia. Novos avanços na Geração III ainda estão sendo introduzidos, com usinas a serem disponibilizadas em curto prazo em vários países (chamadas Geração III+). As novas plantas a serem construídas até 2030 provavelmente serão escolhidas entre as dessa geração. A partir de 2030, a expectativa por avanços inovadores na pesquisa e desenvolvimento tem estimulado o interesse mundial na Geração IV dos

sistemas nucleares. Esses sistemas poderão ser licenciados, construídos e operados de maneira a fornecer preços competitivos e produção de energia confiável.

O programa Impro foi iniciado em 2000, baseado numa resolução da Conferência Geral da Aiea, seguindo uma iniciativa da Federação Russa suportada por um grupo de países membros da Aiea que estabeleceram um esforço internacional para desenvolver reatores nucleares e tecnologia do ciclo do combustível inovadores. O programa reconhece que o fornecimento de energia sustentável para a humanidade no século XXI irá requerer o fornecimento em grande escala da energia nuclear assim como de outras fontes. Ele também reconhece que a energia nuclear possui tecnologia capaz de oferecer uma fonte de energia inesgotável cujo fornecimento pode reduzir a poluição ambiental e os volumes de rejeitos que necessitam gerenciamento, incluindo as emissões de gases do efeito estufa. Hoje, os desafios tecnológicos da energia nuclear podem ser definidos em quatro áreas: sustentabilidade, competitividade, segurança e confiabilidade, resistência à proliferação e proteção física.

ENERGIA NUCLEAR SUSTENTÁVEL

Sustentabilidade é a habilidade de atender às necessidades da geração atual sem comprometer a habilidade das gerações futuras de atender as suas próprias necessidades. Na geração nuclear, as metas de sustentabilidade estão focadas no gerenciamento dos rejeitos radioativos e na melhor utilização do combustível nuclear.

Atender às metas de sustentabilidade inclui fornecer um sistema de geração de energia sustentável, substituindo fontes de energia poluidoras e promovendo a efetiva utilização do combustível nuclear. Esse combustível deve ser estendido aos séculos futuros, através da sua reciclagem para recuperar a energia remanescente. Além disso, as metas devem prever a redução da carga térmica do decaimento radioativo dos rejeitos nos repositórios, aumentando a sua capacidade de armazenamento e encurtando o tempo que devam ser isolados da biosfera. Para isso, a análise científica e a demonstração de segurança desses repositórios para tempos muito longos (acima de 1.000 anos) devem ser simplificadas, por meio de uma significativa redução no tempo de vida e na toxicidade dos rejeitos radioativos residuais enviados aos repositórios para armazenamento final.

O gerenciamento do combustível nuclear usado e o armazenamento de rejeitos com alto nível de radiação permanecem um desafio para a indústria nuclear e para a humanidade. Nenhum país ainda implementou com absoluto sucesso um sistema para a disposição desses rejeitos. Concordo com muitos especialistas que concluíram que os repositórios geológicos serão capazes de isolar com segurança os rejeitos da biosfera. Entretanto, a implementação desse método é um empreendimento absolutamente necessário que irá envolver grandes esforços das instituições políticas, reguladoras e das operadoras de plantas nucleares.

Um grande progresso no armazenamento geológico profundo está sendo feito na Finlândia e nos Estados Unidos, onde os locais de armazenamento foram escolhidos e os trabalhos de pré-construção estão em andamento. Entretanto, mais de uma década será necessária para que o primeiro desses repositórios esteja operacional. Nesse meio tempo, a tendência no mundo tem sido utilizar instalações de armazenamento temporárias (intermediárias) acima do solo e muitos países estão explorando a exeqüibilidade da armazenagem temporária por cem anos ou mais, com possibilidade de recuperação do combustível usado, caso novas soluções sejam apresentadas no futuro.

No Brasil, o destino dos rejeitos de média e baixa atividades já é um problema resolvido segundo a Eletronuclear, empresa estatal operadora das usinas Angra 1 e Angra 2. Papéis, panos de limpeza, vestuários, entre outros, utilizados nas usinas são classificados como de baixa atividade. Eles são geralmente compactados para redução de volume ou incinerados antes do armazenamento final. As resinas iônicas, lamas

químicas, revestimentos metálicos, etc. de média atividade são imobilizados e enterrados em baixa profundidade. A retomada do programa nuclear brasileiro prevê a construção de um repositório nacional para os rejeitos de média e baixa atividades, próximo à área das duas usinas. Já os rejeitos de alta atividade, que incluem o combustível nuclear usado, são mantidos encapsulados dentro de piscinas com 15 metros de profundidade, no interior das usinas.

A quantidade de combustíveis nucleares usados produzidos anualmente – cerca de 10.000 toneladas – é pequena quando comparada com aproximadamente 28 bilhões de toneladas de dióxido de carbono de combustíveis fósseis que são liberados diretamente na atmosfera e constituem, no momento, a fonte principal das preocupações com as mudanças climáticas. No cenário brasileiro, a utilização futura de reatores a gás de alta temperatura do tipo HTGR (*high temperature gas cooled reactor*) pode ser interessante para a gaseificação de biomassa em ciclos combinados com queima suplementar, como também a utilização direta do calor em processos químicos.

O cenário de crescimento global da energia nuclear, baseado no ciclo aberto, irá requerer múltiplas instalações para disposição do combustível usado. Esse requisito, associado à redução da toxicidade dos rejeitos radioativos, tem ampliado o interesse nos ciclos fechados, avançados, do combustível nuclear. Esses ciclos irão separar plutônio e outros actinídeos e, possivelmente, alguns produtos de fissão do combustível nuclear usado e transmutá-los em espécies de vida mais curta. A meta é reduzir a carga térmica dos rejeitos radioativos nos repositórios, ampliando a sua capacidade de armazenamento e encurtando o tempo que eles necessitam estar isolados da biosfera.

Especialistas que analisam as implicações de ciclos abertos e fechados, levando em consideração cada estágio do ciclo do combustível e os riscos da exposição à radiação, não estão inteiramente convencidos de que os benefícios da separação dos elementos de alta atividade e da transmutação serão mais efetivos em atender aos critérios de economia, segurança, resistência à proliferação e segurança física do que os obtidos no ciclo aberto. O tema continua em aberto.

ENERGIA NUCLEAR COMPETITIVA

A maioria das usinas nucleares é mais econômica do que as usinas a carvão e a gás natural quando se consideram os custos a partir do início de sua operação, isto é, quando os custos de capital e de construção não estão envolvidos. As novas usinas nucleares aparentam ser mais caras do que as usinas para gerar energia por carvão e gás quando ambos os custos de capital e de operação estão envolvidos. Usinas a carvão têm custos intermediários entre aquelas de gás e nuclear, mesmo com os custos para controlar SO_2 e NO_x dentro dos padrões atuais exigidos nos países industrializados. Entretanto, se as emissões de CO_2 forem passíveis de controle no futuro e tiverem de pagar um preço por isso, os custos poderão ser favoráveis à energia nuclear.

Os futuros sistemas de energia nuclear deverão acomodar uma variedade de projetos e proprietários, incluindo usinas de grande e de pequeno porte, atingindo ciclos de operação e custos de produção de energia mais econômicos, através de avanços inovadores na eficiência do ciclo do combustível, simplificações de projeto e tamanho das usinas. Eles também devem reduzir os riscos econômicos dos projetos nucleares, utilizando técnicas de construção inovadoras e, possivelmente, projetos modulares. Os futuros projetos, apesar de estarem voltados em primeiro lugar para a geração de energia, deverão antecipar futuras necessidades de produtos que dependam da energia, como a produção de hidrogênio, a dessalinização da água do mar e o aquecimento distrital.

Muitos países em desenvolvimento demonstram um interesse particular no desenvolvimento de reatores de portes pequeno e médio. Esses projetos permitiriam

investimentos iniciais a incrementos menores que os necessários para os reatores de grande porte e poderiam atender melhor à capacidade da malha energética dos países em desenvolvimento. Eles seriam também adaptados mais facilmente a aplicações tais como aquecimento distrital e dessalinização da água do mar. Muitos países estão trabalhando atualmente no desenvolvimento de reatores de portes pequeno e médio, que poderão estar em alta demanda no futuro.

Sendo uma tecnologia sofisticada, a energia nuclear requer uma infra-estrutura também sofisticada. Cada país deve buscar o sistema ou os sistemas em que deseja investir. Porém, não é possível escapar de questões importantes: a) que infra-estrutura é necessária?; b) qual o prazo para adquiri-las?; c) desenvolver a infra-estrutura em âmbito nacional ou partes devem ser importadas ou divididas com outros países? Naturalmente, cada país deve tomar as suas próprias decisões.

ENERGIA NUCLEAR COM SEGURANÇA E CONFIABILIDADE

Os sistemas de energia nuclear devem ser projetados de forma que, durante operação normal e transientes antecipados, as margens de segurança das usinas sejam adequadas, acidentes sejam impedidos de ocorrer e situações anormais não levem a acidentes severos com fusão do reator nuclear.

O acidente de Chernobyl em 1986 foi claramente um retrocesso para a energia nuclear. Muitas vidas foram perdidas. Milhares tiveram problemas de saúde, com significativos impactos ambientais e sociais. O acidente, ocorrido em 26 de abril de 1986, foi resultado de erros na operação de um reator nuclear (reator RMBK, utilizado apenas em países integrantes da ex-URSS), que possuía algumas características de projeto inadequadas. Mesmo assim, hoje se sabe que, para causar o acidente, os operadores do reator violaram regras básicas de segurança. Ironicamente, entretanto, esse evento também propiciou um sem-número de estudos que levaram a melhorias significativas na segurança nuclear, incorporadas nos reatores das gerações II, III e III+.

Operação segura requer regulamentação efetiva, gerenciamento comprometido com a segurança e trabalhadores qualificados. Manter e ampliar a segurança e a confiabilidade da operação é prioridade essencial no desenvolvimento dos próximos sistemas nucleares. As metas de segurança e confiabilidade prevêem uma operação segura e confiável, melhor gerenciamento de acidentes e minimização de suas conseqüências, proteção ao investimento e redução na necessidade de responder a emergências fora da área onde a usina está instalada. Para isso, os novos projetos incorporam o uso de sistemas inerentemente seguros, são mais robustos, possuem aspectos de segurança totalmente transparentes que possam ser entendidos por não-especialistas e que possam também ampliar a confiança do público na energia nuclear.

Expandir a energia nuclear requer aceitação pública para esse tipo de fonte. Rejeitos nucleares, segurança e custos são elementos críticos para o julgamento do público. Avanços tecnológicos para reduzir custos, melhorar a segurança e a disposição dos rejeitos podem ampliar o apoio. Educação é importante para ampliar a percepção do público sobre os problemas do aquecimento global, conectando o uso dos combustíveis fósseis aos gases do efeito estufa e à necessidade de fontes livres desses gases.

ENERGIA NUCLEAR COM RESISTÊNCIA À PROLIFERAÇÃO E PROTEÇÃO FÍSICA

As salvaguardas fornecidas pelo Tratado de Não-Proliferação Nuclear (NPT) têm sido bem-sucedidas em impedir a utilização dos sistemas de energia nuclear civis para proliferação de armas nucleares.

Essas salvaguardas se aplicam a todos os materiais nucleares dos sistemas envolvidos no enriquecimento, conversão, fabricação, geração de potência, reciclagem e armazenamento de rejeitos. Além disso, as usinas nucleares existentes são altamente seguras e projetadas para resistir a eventos externos tais como terremotos, inundações, tornados, queda de aviões e incêndios. Os sistemas de proteção reduzem o impacto das ameaças internas e externas através da redundância, diversidade e independência dos sistemas de segurança.

A proteção das instalações nucleares tem sido alvo de grandes preocupações. O ataque indiscriminado de terroristas extremados tem levado a uma reavaliação da proteção das instalações industriais, nelas incluído o setor nuclear. Ao mesmo tempo, constantes preocupações estão relacionadas à disseminação das armas nucleares e de tecnologia nuclear sensível. No último ano, testes nucleares na Coréia do Norte e a preocupação acerca do programa nuclear do Irã foram dois casos dignos de nota.

A Aiea, em cooperação com vários países, tem trabalhado nos vários continentes controlando fontes radiológicas e material nuclear e atuando no aumento da proteção das instalações nucleares. Dentro dos acordos de salvaguarda estabelecidos no NPT, a Aiea tem inspecionado os países para verificar se seus programas para fins pacíficos não têm sido utilizados para desvio de material nuclear para fins bélicos. Quanto mais os países se industrializam, o controle da tecnologia se torna mais complexo. Particularmente sensíveis são as operações de enriquecimento e de reprocessamento do combustível, atividades que são partes de programas pacíficos, mas que podem ser usadas para produzir o urânio enriquecido e o plutônio usado em armas nucleares. A Aiea tem advogado que para essas tecnologias deveria ser estabelecido um tratamento multinacional para garantir que nenhum país tenha a capacidade de produzir com independência material nuclear sensível. Esse tema polêmico seria estabelecido em duas etapas. A primeira criaria um mecanismo para garantir o suprimento do combustível nuclear, possivelmente através de um banco de combustível gerenciado pela Aiea. Para países que utilizam o combustível na geração elétrica, esse mecanismo serviria para garantir o seu fornecimento, removendo o risco de ter a sua fonte interrompida por razões não-comerciais. A segunda etapa buscaria trazer quaisquer novas operações de enriquecimento e separação de plutônio sob controle multinacional. Esse controle deveria também ser estendido para as instalações já existentes para garantir que todos os países sejam tratados com igualdade em termos de sua capacidade nuclear.

Sob o título "Novo Formato Estabelecido para a Expansão Nuclear Global" a revista *Nuclear News* publicou, em agosto de 2007, que os Estados Unidos e a Rússia estão planejando um "formato" inédito para a cooperação internacional em energia nuclear e não-proliferação. O propósito é trazer os benefícios da energia nuclear para uma faixa ampla de países interessados, países em desenvolvimento em particular, mas garantindo que as metas comuns de prevenção contra a proliferação sejam atingidas. A idéia do novo formato, segundo a *Nuclear News*, é de que mais tem que ser feito para intensificar os acordos de não-proliferação se o futuro da energia nuclear é o de se expandir com segurança no mundo. O acordo conclama países que tenham a intenção de ingressar na era nuclear, ou expandir os seus programas, a tomar parte em novos desenvolvimentos que forneçam uma alternativa à aquisição de tecnologias nucleares sensíveis, como o enriquecimento e o reprocessamento.

Os novos arranjos pretendem construir, dentro das iniciativas de cooperação internacional existentes, um centro de combustível nuclear internacional e manter esforços para estabelecer mecanismos de fornecimento confiável desse combustível através da Aiea e das iniciativas internacionais como os projetos Geração IV e Impro.

Será necessário convencer a todos os países de que esta é uma alternativa viável, a qual incluiria: a) garantir o fornecimento de um conjunto de reatores resistentes à proli-

feração com financiamentos adequados; b) apoiar o desenvolvimento da infra-estrutura necessária ao programa de energia nuclear, incluindo a regulamentação, segurança, proteção física e programas de treinamento; c) manter mercados estáveis de combustível nuclear para garantir o fornecimento e os serviços por toda a vida útil da usina, por exemplo, através da criação de um centro do ciclo do combustível internacional sobre salvaguarda da Aiea; e d) trazer soluções para o gerenciamento do combustível usado e dos rejeitos radioativos, através de opções que incluiriam o *leasing* do combustível, o armazenamento do combustível usado e a sua reciclagem.

CONCLUSÃO

A energia nuclear é uma opção que deve ser mantida, porque é uma fonte de energia que não emite gases do efeito estufa. Ela irá desempenhar um papel cada vez mais importante na matriz energética mundial. Reatores nucleares com projetos avançados já estão disponíveis, e projetos ainda mais avançados, como os da Geração IV, estão sendo pesquisados e desenvolvidos e deverão estar disponíveis a partir de 2035.

Muitos países estão construindo plantas nucleares por diversidade na sua matriz energética, por segurança no fornecimento e para reduzir o potencial suprimento de energias não-econômicas, mostrando coerência nas suas políticas energéticas. O fornecimento de urânio no mundo será suficiente para atender à demanda por novas centrais, mas o debate sobre as vantagens e desvantagens dos ciclos do combustível nuclear aberto e fechado e as pesquisas e os desenvolvimentos associados a eles devem ser mantidos. Melhorias substanciais no custo e na tecnologia nuclear devem favorecer a mudança da percepção pública sobre a energia nuclear.

Iniciativas como as dos programas Geração IV e Impro devem ser acompanhadas pelos governos que desejam ingressar na área nuclear ou mesmo expandir os seus programas. O novo formato que está sendo proposto para a expansão da energia nuclear deve ser debatido de forma aberta por todos os grupos interessados na geração de energia no futuro e de como obtê-la com segurança, garantia de fornecimento e, no caso da nuclear, com riscos de proliferação mínimos.

O Brasil encontra-se em uma posição privilegiada. Ele é um dos três países, ao lado dos Estados Unidos e da Rússia, que possuem reservas de urânio e detêm a tecnologia do ciclo do combustível. O PNE 2030 tem como base a diversificação da matriz energética, hoje basicamente hidrelétrica, com investimentos em fontes complementares. Nesse novo cenário, a energia nuclear assume um papel importante e a sua participação irá crescer progressivamente, chegando a 2030 com até oito novas usinas. Ao traçar uma estratégia de inserção gradativa de novas usinas nucleares na matriz energética nacional, procurou-se também atender às diretrizes do Programa Nuclear Brasileiro, de preservar a capacitação adquirida, investir no desenvolvimento tecnológico e garantir a renovação dos recursos humanos do setor.