

# História da energia nuclear sueca

TOMAS KÅBERGER

## Resumo

A ENERGIA NUCLEAR, com alto custo de investimento, custo moderado de pessoal e custo de combustível inferior ao de combustíveis convencionais, possibilita baixos preços para a eletricidade quando os reatores fornecem quantidades marginais de eletricidade.

O apoio dado à energia nuclear pela indústria consumidora de eletricidade sueca deve ser entendido mais como um esforço para criar e preservar uma situação de supercapacidade do setor produtor de eletricidade do que apoiar a energia nuclear em si.

É difícil internalizar o custo externo das emissões rotineiras de materiais radioativos porque esses, como o dióxido de carbono, têm efeito global de longo prazo. Todavia, como os poluentes do ar já regulamentados, os custos de acidentes com reatores, assim como a motivação para considerar custos de acidentes envolvendo reatores, bem como as motivações para considerar custos administrativos dos rejeitos nucleares, são regionais e no âmbito do tempo de uma geração. A avaliação mercadológica do risco de acidentes foi deliberadamente destruída pela legislação estabelecida para favorecer as usinas nucleares.

Uma racionalidade econômica e societária pode ser aplicada com sucesso ao setor de energia. Riscos de mudanças climáticas foram internalizados na Suécia pelos impostos de carbono. O desenvolvimento resultante dos biocombustíveis foi surpreendentemente bem-sucedido, indicando um potencial para promover a modernização do sistema de fornecimento de energia.

A legislação prevê possíveis meios para restaurar o mercado de risco nuclear, a fim de internalizar riscos de acidentes em reatores nucleares e custos de rejeitos. Isso pode ser feito sem a difícil quantificação de custos ambientais. Uma legislação adequada pode internalizar o custo, enquanto são criadas condições para a avaliação mercadológica desses custos incertos.

## Antecedentes

A Suécia é um país do norte da Europa. Os invernos exigem aquecimento das casas, enquanto os verões são quentes, mas não escaldantes. O custo econômico da energia é alto. Apesar da diminuição da dependência do petróleo desde 1970, essa ainda é considerada a maior fonte de energia. Apenas alguns países usam mais energia hidrelétrica *per capita* do que a Suécia. Nenhum país apre-

senta maior uso de bioenergia. Entretanto, mais energia é produzida *per capita* com reatores nucleares do que em qualquer outro país do mundo.

Reduzir a dependência de petróleo é, em geral, um objetivo popular da política nacional de energia. A questão nuclear tem sido controversa, e a política nuclear é um tema confuso que divide os principais partidos políticos suecos.

*Argumentos antinucleares têm sido baseados em considerações a respeito de acidentes em reatores, efeitos em longo prazo sobre a saúde humana pela exposição rotineira às emissões de materiais radioativos, lixo nuclear e vínculos entre energia nuclear civil e armas nucleares.*

A política nuclear foi o principal item da política nacional sueca durante o meio e o final da década de 1970; esse tema alimentou a maior parte da oposição e acabou sendo o responsável pelo fim de quase quarenta anos ininterruptos do governo social-democrata no país. As organizações industriais mais poderosas, contudo, apoiaram fortemente a energia nuclear.

Investimentos nucleares começaram como parte de um projeto armamentista (Larsson, 1985). O processo continuou com ambições industriais, mas, como o custo da energia nuclear é muito mais elevado que o preço da eletricidade, o projeto de energia nuclear tornou-se não apenas um problema ambiental e político, mas também um problema econômico para os proprietários durante os últimos quinze anos do século XX (Johansson, 1986; Jasper, 1990; Kaijser, 1992).

Como um problema político, o assunto energia nuclear não poderia ser resolvido no processo parlamentar, uma vez que os partidos estavam divididos. Assim, um referendo nacional sobre energia nuclear foi realizado em março de 1980. Os termos das opções de votação do referendo eram, no mínimo, ambíguos, embora significados não expressados tenham sido bem compreendidos pelos eleitores. Havia três possibilidades de votação. Todas as opções afirmavam que a energia nuclear poderia ser desativada. A opção vencedora estabelecia que no máximo doze reatores deveriam ser construídos, e que todos eles deveriam ser fechados. De acordo com um projeto publicado pela campanha, todos os reatores deveriam ser fechados após uma operação estimada de 25 anos (Johansson, 1986; Jasper, 1990; Kaijser, 1992).

É difícil conceber de modo consistente a política de energia nuclear na Suécia. Muitos tentaram descrever todo o processo político a partir de perspectivas sociológicas ou de ciência política tendo como base os processos (Lindquist, 1997 (sociologia); Lundgren, 1978 (história); Lindström, 1991 (ciências políticas); também Anshelm, 2000; Leijonhufvud, 1994; e, em inglês, Sahr, 1985; Jasper, 1990).

O que se segue é uma tentativa de descrever alguns dos interesses econômicos e racionais que influenciaram a política de energia nuclear na Suécia. Todavia, tenta-se também descrever um esquema para a economia de mercado no setor de energia que pode ter uma finalidade socioeconômica. Tais opções políticas são descritas nas últimas partes do texto.

## **Desenvolvimento do setor elétrico sueco**

As companhias de produção e distribuição de eletricidade estabeleceram-se em várias cidades e indústrias da Suécia durante o período de 1880-1900. Algumas foram baseadas em geração elétrica térmica, enquanto outras, em pequenas usinas hidrelétricas construídas nos pequenos rios na região mais populosa, o sul da Suécia. Como era difícil manter a competição, o acordo elétrico foi desenvolvido e companhias locais de eletricidade freqüentemente se tornaram monopólios pertencentes ao município.

A exploração de grandes rios, a maioria na região menos populosa do norte da Suécia, começou no início da década de 1900. Companhias energéticas com capacidade econômica para participar dessa exploração foram formadas por indústrias, pelas municipalidades e pelo Estado. A exploração foi possibilitada por meio de uma legislação especial sobre energia hidráulica.

Linhas de transmissão foram construídas pelo Estado ligando as grandes usinas hidrelétricas do Norte à população existente no Sul. As companhias locais, freqüentemente municipais, uma a uma, foram desistindo da produção de eletricidade e tornaram-se distribuidoras de eletricidade comprada das companhias geradoras de energia. As companhias locais de eletricidade tornaram-se varejistas pseudo-independentes com pequeno ou nenhum poder próprio.

A expansão hidrelétrica terminou no final da década de 1980. Os rios que poderiam ser explorados a baixo custo já tinham sido utilizados. Aqueles que restavam necessitavam de investimentos muito grandes em relação à energia elétrica que poderia ser produzida. Além disso, uma opinião pública crescente se opunha à exploração dos últimos poucos rios que desembocam no mar Báltico, aumentando o custo político de qualquer novo projeto. Conseqüentemente, a crescente demanda de energia elétrica não poderia mais ser satisfeita com novas usinas hidrelétricas e a atenção voltou-se novamente para a geração térmica.

O desenvolvimento de energia térmica possibilitou às companhias municipais de eletricidade do sul da Suécia a recuperação de sua independência. A geração de eletricidade usando turbinas a vapor abriu a oportunidade para o uso sistemas de aquecimento distrital e a utilização de água de refrigeração. Rendas do aquecimento distrital dariam a esses sistemas municipais uma vantagem competitiva sobre as companhias energéticas que não possuíam a mesma oportunidade de desenvolver redes de aquecimento distritais e teriam que fixar seus preços suficientemente altos para cobrir todas as despesas dos custos de suas usinas de energia. As companhias locais viam uma oportunidade para tornarem-se companhias de energia, e assim retomar as participações perdidas no mercado durante a era das hidrelétricas.

Esses novos competidores ameaçariam a posição das companhias de energia, que poderiam controlar o preço da eletricidade, bem como ter controle sobre a rede nacional de energia. Na batalha que se seguiu, as companhias estatais Statens Vattenfallsverk, agora Vattenfall, tinham importante poder de mercado.

Vattenfall poderia impedir as companhias municipais de vender o excesso de eletricidade às cidades vizinhas, e cobrava taxas exorbitantemente altas pela energia a ser suprida no caso de carência de energia numa cidade que se atrevera a construir co-geração de energia (Steen & Kaijser; 1990. Sintorn, 1990).

Nesse estágio, a opção pela energia nuclear teve um papel importante na batalha pelo mercado de eletricidade. Se as companhias de energia pudessem apresentar a energia nuclear como capaz de produzir energia elétrica mais barata do que co-geração com combustíveis fósseis, seriam desencorajados investimentos por companhias municipais de energia.

Mas a energia nuclear nunca foi uma opção de baixo custo. Quando os primeiros reatores foram construídos nos Estados Unidos, e o primeiro pequeno reator sueco Agesta foi construído, os custos de investimento se mostraram muito altos para desencorajar ofertas dos competidores de co-geração convencional. A usina do Agesta deveria ter sido concluída em 1961 a um custo de 40 M SEK. Ela foi concluída em 1964 a um custo de 205 M SEK. Ela operou com prejuízos até fechar em 1974, apesar de o governo ter cancelado a maioria do custo de investimento (Leijonhufvud, 1994, p. 47).

A indústria intensiva de eletricidade foi desenvolvida na Suécia sob condições de mercado definidas pela hidroenergia, com grandes custos de investimento e baixo custo marginal. A energia nuclear, também, parecia fornecer baixos custos marginais, apesar dos altos investimentos. Para clientes industriais, tal tecnologia pode oferecer baixo custo se, e apenas se, existir supercapacidade. Uma vez construídas as usinas, a eletricidade será produzida e vendida a preços tão baixos quanto os custos marginais de curto prazo.

Previu-se também que as usinas de energia nuclear se tornariam mais baratas se fossem construídas mais usinas. Em particular, se uma série de reatores idênticos fosse construída, esperava-se que os custos se apresentassem suficientemente baixos para tornar competitivas economicamente as usinas de energia nuclear. A fim de construir uma série de reatores, era necessária a percepção de grande demanda energética futura.

Quando questionados pelas companhias energéticas, os clientes industriais tinham interesse em fornecer estimativas exageradas da demanda energética futura, para criar supercapacidade de fornecimento e obter baixos preços de eletricidade. As companhias energéticas, por sua vez, tomaram essas estimativas como indicativas de apoio aos seus objetivos de uma grande série de reatores nucleares. Por volta de 1970, foram feitas projeções que se revelaram muito distantes do futuro real. Em 1972, o CDI, um organismo de coordenação das projeções para a indústria produtora de energia, projetou a necessidade de 24 reatores até 1990.

Outro fator que incentivou a indústria de eletricidade a fornecer alta estimativa de demanda futura de energia foi a oposição dos ambientalistas à energia nuclear desde o início da década de 1970. O movimento antinuclear favorecia energia eólica, energia solar e biomassa. Energia eólica e biomassa eram econo-

micamente adequadas. Mas, se a demanda de eletricidade projetada fosse suficientemente alta, a indústria nuclear poderia reclamar que apenas a energia nuclear poderia satisfazer a demanda.

Fortes atores favoráveis aos cenários de alta necessidade de energia elétrica montaram a cena para o debate. Em 1974, uma comissão nacional sobre projeções de energia (SOU, 1974, p.64), baseada pesadamente nas informações fornecidas pelas indústrias produtoras e consumidoras de eletricidade, anteciparam um consumo de eletricidade de 350 TWh por volta do ano 2000. Na realidade, apesar do aumento de energia nuclear disponível, o uso real revelou-se menor que 145 TWh.

O superinvestimento em reatores nucleares que se seguiu pode ser compreendido nesse contexto de respostas individuais racionais dado às condições e aos interesses econômicos. A indústria intensiva de eletricidade ofereceu números muito altos para as necessidades futuras. Os administradores das companhias de energia não analisaram criticamente tais números porque as projeções resultantes se ajustavam muito bem aos seus objetivos políticos: as projeções justificavam a idéia de construir um grande número de reatores para abaixar os custos de investimento, e o rápido crescimento da demanda mostrou que a energia renovável não era suficiente.

Mesmo antes da construção dos últimos reatores suecos após o referendo em 1980, já estava claro para muitas pessoas que a demanda não criaria preços para a eletricidade que pagariam o custo total de produção dos reatores planejados (Kågeson, 1980; Millqvist et al., 1979). *Alguns anos mais tarde, pesquisadores concluíram que o plano de baixa potência dos movimentos antinucleares se ajustava melhor à demanda real que a projeção oficial; apesar disso, não se tomou nenhuma medida para reduzir o uso de energia (Tengström, 1985).*

Os reatores construídos depois do referendo, principalmente Oskarshamn III e Forsmark III comissionados em 1985, não recuperaram seus custos de capital para seus proprietários. Mas, pelo menos antes de a competição ter sido introduzida, todos os reatores pareciam cobrir os seus custos evitáveis (combustível, pessoal e manutenção). Mesmo antes de a competição ter sido introduzida, o comércio de eletricidade incluía mercados para energia marginal oferecida a preços muito abaixo do preço médio. Admitindo todas essas vendas, cobradas a cerca de 0,1 SEK /kWh, aos reatores nucleares mais velhos, pode-se fazer uma análise gerando o resultado oposto. Apesar do baixo preço da eletricidade marginal, a operação dos reatores foi limitada a preços acima dos custos marginais de curto prazo de apenas o combustível nuclear. A demanda freqüentemente foi muito baixa mesmo àqueles preços, o que forçou as operadoras a diminuir a energia produzida pelos reatores.

Essa era a situação no início da década de 1990, quando os reatores mais velhos se aproximavam de 25 anos de operação, e deveriam ser desligados de acordo com os acordos antes do referendo e a decisão parlamentar subsequente. *A ministra de Energia e Ambiente, Birgitta Dahl, tomou uma decisão irrevogável de fechar os primeiros reatores em 1996. Uma campanha for-*

*temente financiada foi lançada contra ela e sua decisão.* Na campanha, o método foi mobilizar os sindicatos industriais contra o governo social-democrático. O papel da indústria de reatores nucleares e das companhias energéticas foi limitado a fornecer informações reservadas (Wikdahl, 1991), deixando a batalha para a indústria de eletricidade intensiva e os sindicatos (Hibbs, 1991).

A importância da eletricidade intensiva em mineração, indústria química e de polpa de celulose e papel foi fator-chave nessa campanha. As companhias envolvidas eram poucas e elas sabiam que seus interesses econômicos eram fortes. Assim elas se organizaram facilmente e formaram a Swedish Electricity Refining Industry (Sveriges El-förädlande Industrier) para desenvolver a campanha.

Elas utilizavam em conjunto 31 TWh de eletricidade por ano. Supercapacidade dos geradores de eletricidade lhes permitiu comprar eletricidade a 0,15 SEK /kWh (aproximadamente 2 UScent/kWh). A crença expressa, tanto pela indústria como pelos relatórios do governo da época, foi que, se os dois reatores fossem fechados, a supercapacidade deveria desaparecer e os preços deveriam subir até tornar-se economicamente justificável a construção de novas usinas. Foi dito que a eletricidade de quaisquer novas usinas que poderiam ser construídas custaria o dobro, 0,3 SEK/kWh. A oferta de negócio oferecida pela campanha foi a seguinte: se a campanha apenas conseguisse adiar a desativação nuclear por um ano, o aumento de preço seria também prorrogado por um ano. A indústria intensiva de eletricidade, comprando 31 TWh por ano, iria, assim, economizar 31TWh (0,3-0,15) SEK/kWh = 4,65 GSEK  $\approx$  USD 650 milhões. A possibilidade de adiar a desativação justificaria o grande investimento na campanha política.

A partir das atividades aparentes organizadas e publicações feitas, o orçamento da campanha parece ter sido da ordem de 10%-20% dessa quantia.

Fogelström, que foi o diretor-executivo da produtora de reatores Asea-Atom na época, descreveu o sucesso da campanha em uma reunião com o German Atomic Forum (Hibbs, 1991). Ele concluiu que os líderes dos sindicatos, entre os quais Rune Molin, ficaram impressionados com os argumentos e que foi dada a Rune Molin uma posição no governo como ministro da Indústria, bem como a pasta de Energia de Birgitta Dahl, que ficou apenas com a do Ambiente. A decisão irrevogável tornou-se uma vaga ambição, e o resultado da campanha da indústria foi considerado satisfatório para aqueles que a financiaram.

As companhias de energia não conseguiram recuperar seus investimentos, e perderam os lucros esperados de suas usinas hidrelétricas em razão do baixo preço da eletricidade. Na época, cerca de 80% das companhias energéticas perentenciam a contribuintes e fundos de pensão.

Em 1995, o mercado de eletricidade foi re-regulado a fim de introduzir competição entre os produtores. O resultado da reforma foi visível no declínio dos preços da eletricidade. Durante o período de 1998 a 2000, o preço foi de cerca de 0,12 SEK/ kWh. Os custos de produção relatados pelas companhias de reatores ficaram todos bem acima dos preços de mercado. Com os mais novos reatores isso

se deu em razão dos custos residuais de capital, mas os reatores mais velhos não foram capazes de cobrir nem os custos evitáveis a preços de mercado.

Em 1997, deu-se uma decisão parlamentar, com maioria negociada, para fechar um dos mais velhos reatores, Barsebäck I, e pagar compensação ao proprietário, Sydkraft. Ao mesmo tempo, foi revogada a decisão de fechar todos os reatores após 25 anos de operação. O segundo reator em Barsebäck somente seria fechado quando a eletricidade renovável e o aperfeiçoamento da eficiência tivessem compensado a perda de capacidade do primeiro. Nos dias seguintes à decisão, o valor das ações de todas as companhias de energia aumentou, mas o valor de Sydkraft aumentou mais que o das outras (Kåberger, 1997). *No acordo econômico que se seguiu, os contribuintes pagaram mais de um bilhão de USD aos proprietários do reator.*

Para compreender o sucesso político desse acordo, devemos ver como a decisão afetou os partidos interessados.

As companhias de energia só lucraram. Um dos reatores que tinham custos evitáveis muito acima dos preços da eletricidade foi fechado. Nenhuma companhia teve perda em razão do acordo. Todos os produtores de eletricidade esperavam beneficiar-se com o aumento marginal do preço da eletricidade. As companhias de energia nuclear ganharam. Foi anulada a decisão de fechar todos os reatores com 25 anos de idade e, mais importante, foram dadas compensações pelo fechamento dos reatores. Mesmo para o primeiro reator mais velho com custos evitáveis acima dos preços de mercado.

Logo após, o vice-ministro de Energia, que conduziu a decisão, Peter Nygård, foi alçado ao posto de diretor administrativo da SKB, uma companhia administradora de resíduos nucleares pertencente ao conjunto dos proprietários dos reatores nucleares suecos. Essa indicação mostra que a indústria de energia pelo menos não ficou desapontada com o acordo político.

A indústria intensiva de energia pode não ter gostado do risco de um aumento marginal de preços em curto prazo em razão da redução da superprodução. Todavia, com o mercado de eletricidade integrado incluindo outras nações além da Suécia, o efeito de desativar um pequeno reator foi menor. Mais importante foi revogar a decisão de desativar todos os reatores após 25 anos de operação. Essa perda de produção seria suficientemente grande em relação à capacidade de transmissão para o norte da Europa, o que afetaria os preços na Suécia.

Muitos oponentes ativos da energia nuclear que celebraram o início da desativação e porta-vozes do governo fizeram bem-sucedidos esforços para apoiar essa imagem do acordo com manifestações de retórica política.

Os contribuintes, que tiveram que pagar uma indenização aos proprietários do reator, constituem um grande número de pessoas que perderam individualmente uma significativa quantia em dinheiro. É muito difícil organizar suficientemente tais indivíduos para entender, e menos ainda para defender, seus interesses.

Barsebäck I foi fechado em 1999. A fim de prosseguir a desativação dos

outros reatores em Barsebäck, a produção de eletricidade do primeiro reator deveria ser substituída por fornecimento de energia renovável ou melhoria na eficiência. Isso foi alcançado em poucos anos. Os reatores em operação produziram cada um em média entre 3,5 e 4 TWh. Entre 2000 e 2005, a produção anual de eletricidade a partir apenas de bioenergia aumentou mais de 4 TWh; adicionalmente a energia eólica aumentou de meio TWh (veja Diagramas 1 e 2).

Como resultado, Barsebäck II foi desativado em 2005. Foi estabelecido um acordo semelhante para indenizar o proprietário.

As usinas nucleares restantes, compreendendo um total de dez reatores, continuam em operação. Nenhuma decisão foi tomada para a continuidade das desativações. O governo atual manifestou explicitamente que nenhuma decisão será tomada durante a sua gestão.

O preço da eletricidade tem crescido na Europa parcialmente em razão das restrições à emissão de carbono. O resultado é que as usinas nucleares não são mais um peso econômico aos seus proprietários. Ao contrário, os proprietários estão investindo na modernização das usinas, e foi permitido a algumas aumentar a sua potência de geração. Se todos os planos forem realizados, o aumento da potência dos reatores remanescentes pode ser igual à capacidade perdida quando os dois pequenos reatores Barsebäck foram fechados.

Isso parece ser economicamente racional. Pode-se ver que os custos operacionais dos mais velhos e pequenos reatores eram muito altos para justificar a continuação de sua operação, enquanto os mais novos e maiores reatores custam mais para construir, mas operaram com custos de operação defensáveis. Novos reatores não são um investimento rentável, mas um aumento marginal aos melhores reatores existentes pode torná-los lucrativos.

Assim, a decisão das lideranças políticas de desativar os reatores Barsebäck pode parecer economicamente racional num sentido estreito. Mas existem outros fatores relevantes.

Barsebäck está situado próximo à terceira maior cidade da Suécia, Malmö, e exatamente diante de Öresund, em linha reta de Copenhague, a capital da vizinha Dinamarca. Um acidente no reator de Barsebäck teria maiores consequências sociais e econômicas do que em relação a qualquer outra usina nuclear da Suécia, situada mais distante de grandes centros populacionais

Além disso, o corpo de funcionários de Barsebäck mostrou um comportamento que causou muita preocupação às autoridades de segurança.

*Enquanto nenhuma outra usina nuclear na Suécia é tão mal localizada, uma outra usina começa a chamar a atenção por problemas semelhantes com a cultura de segurança entre o seu corpo de funcionários. A usina nuclear Forsmark, normalmente vista como a de melhor desempenho, está sob investigação por quebra ilegal de regulamentos de segurança, a usina sob supervisão pela autoridade, e um reator fechado por razões de segurança.*

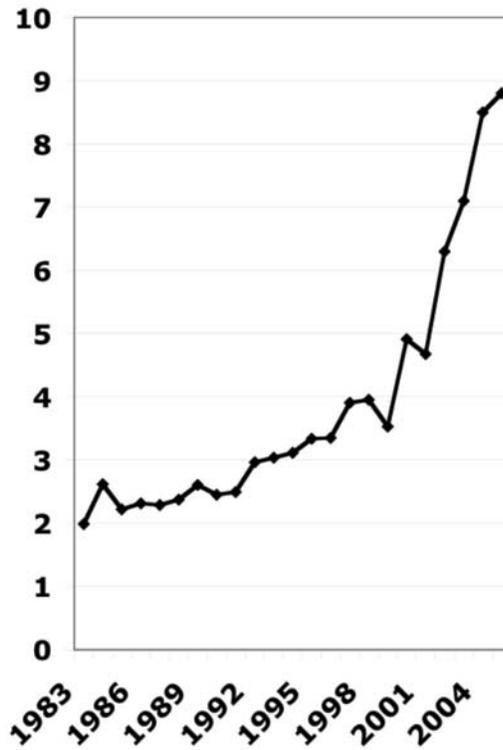


Diagrama 1 – Produção de eletricidade com biomassa na Suécia (1983-2005).

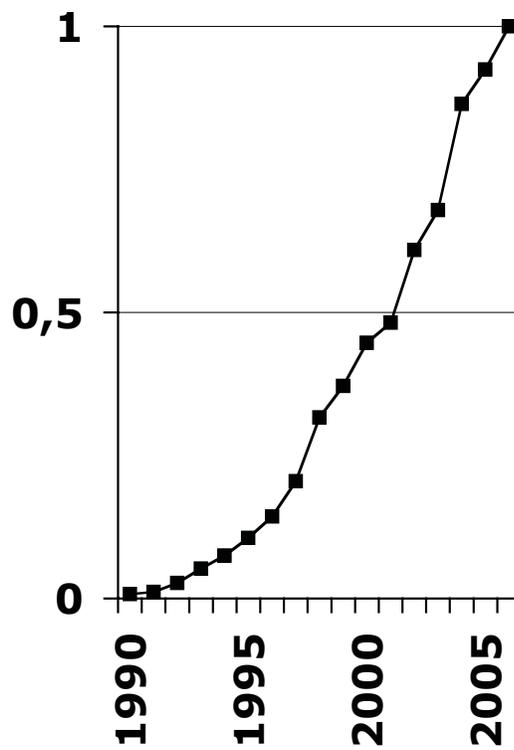


Diagrama 2 – Produção de eletricidade a partir de energia eólica na Suécia (1999-2006).

Essa descrição da mudança de foco em transações monetárias vai desde a desativação planejada até soluções mais de mercado. Todavia, o setor de energia tem efeitos econômicos externos significativos que são perdidos em tal análise. A extensão do tempo de operação dos reatores restantes levará a um aumento total de operação nuclear e a custos associados.

*Um maior número de casos esperados de câncer e riscos geriátricos ocorrerá em razão das emissões rotineiras de material radioativo, especialmente das minas de urânio.* Esses custos afetam principalmente pessoas em outros países e futuras gerações. Hoje em dia é freqüentemente possível tratar o câncer com sucesso para aqueles que têm possibilidade de detectar o seu câncer prematuramente, e que têm condições econômicas para pagar pelo tratamento.

Os homens poderosos das sociedades industriais atuais podem valorizar pouco esses efeitos. Todavia, uma análise socioeconômica que considere igualmente o custo, independentemente de onde e quando pessoas sofrem esses efeitos, pode levar esses custos a valores significativamente maiores.

O maior tempo em anos de operação de um reator contribuirá para aumentar o risco de acidentes. A significação de tais riscos é difícil de quantificar. Os custos foram retirados dos ombros dos operadores e colocados sobre os contribuintes e vítimas potenciais de tais acidentes pela legislação sobre responsabilidade nuclear. Nesse caso, um grande número de pessoas tem uma baixa probabilidade de um custo significativo.

*Mais lixo nuclear será produzido. Acredita-se que a administração do lixo nuclear trará custos externos apenas para as gerações futuras.* Os membros daquelas gerações não podem influenciar tomadas de decisão no presente. Todavia, na teoria econômica, embora não necessariamente em política, as conseqüências são importantes mesmo que elas não tenham grupos de interesse organizados para dar-lhes atenção. O princípio geral é que aqueles que causam custos ambientais deverão também pagar os custos. Se eles não pagarem diretamente às vítimas, então deverão pagar o custo como imposto (Pigou, 1920). Essa é a posição tomada não apenas pelos ambientalistas, mas também pelos economistas e pela Organização Internacional em documentos como Agenda 21 (UN, 1992, artigo 4.24) e WEC (1995).

A seguir, abordaremos resumidamente como é feita na Suécia a incorporação do custo de combustíveis fósseis por meio da taxa ambiental. Esse procedimento foi implementado com sucesso e favoreceu os interesses da energia nuclear. Finalmente, verificaremos o potencial de aplicação da teoria econômica à regulação da própria energia nuclear.

### **Cobrando pelas emissões de dióxido de carbono dos combustíveis fósseis**

Desde a primeira crise do petróleo em 1973, existe na Suécia, de acordo com todos os partidos, uma verdadeira política para redução da dependência do petróleo. Subsídios e apoio para petróleo foram sendo sistematicamente removi-

dos e os impostos para combustíveis fósseis, aumentados. Como as políticas voltadas para o clima contribuíram para reforçar a redução do uso de combustível fóssil, um imposto sobre combustíveis fósseis foi introduzido na Suécia em 1990 (Jonsson et al., 1997). O Diagrama 3 mostra o resultado mais significativo dessa política, o aumento do uso de bioenergia. A bioenergia contribui com cerca de um quarto de toda a energia usada na Suécia em 2005.

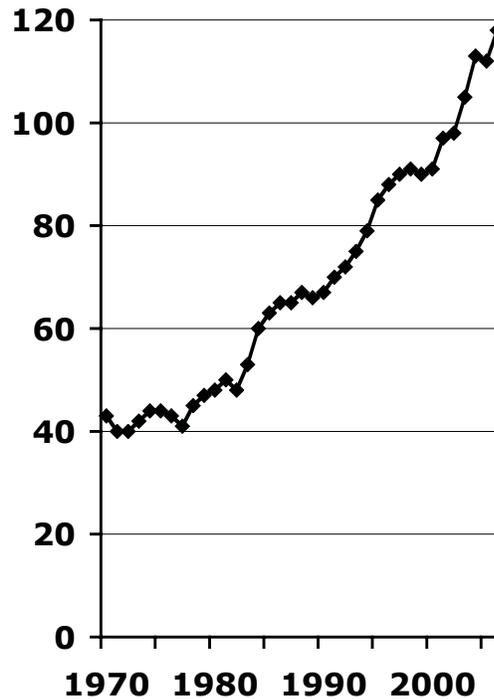


Diagrama 3 – Uso de bioenergia na Suécia (1979-2006), em TWh.

Desde a introdução do imposto do carbono, a bioenergia tem sido o maior concorrente alternativo para petróleo e carvão em todas as novas grandes usinas. Conforme foi crescendo o uso de bioenergia, surpreendentemente para alguns o preço dos biocombustíveis sólidos caiu. Parecia não haver falta de recursos enquanto os métodos de preparação e transporte de biomassa para finalidades energéticas melhoravam significativamente.

*Durante a década seguinte, o uso de bioenergia cresceu cerca de 3 TWh por ano, e, em 2006, dados preliminares das autoridades de energia revelam que a bioenergia contribuiu com 118 TWh na Suécia, significativamente mais energia que os 65 TWh de eletricidade produzida nos reatores nucleares.*

A Suécia é um dos países do mundo nos quais foram desenvolvidas novas tecnologias para produzir e usar bioenergia refinada. A madeira granulada para uso em pequenos queimadores aumentou em popularidade, e tecnologias para gasificação integrada de biomassa e ciclos combinados de geração de eletricidade têm sido desenvolvidos e demonstrados na Suécia (Ståhl & Nergaard, 1998).

Enquanto a maior parte do planejamento para mais bioenergia estava projetando plantações para energia e competição com os fornecedores da indústria florestal, as condições de mercado estimularam o suprimento de resíduos da indústria madeireira e florestal (Kåberger, 1997).

Nesse caso, houve uma política clara para reduzir o uso de combustíveis fósseis e aumentar o uso de bioenergia. Removendo os subsídios e impondo taxas ambientais nos combustíveis fósseis, criaram-se condições para crescimento e foi bem recebida uma demanda por resultados de pesquisa e informações sobre bioenergia, e sobre quanto o uso da bioenergia era lucrativo.

Nos bastidores da introdução da taxa de carbono no período em torno de 1990, havia interesses mutuamente apoiados dos proprietários dos reatores nucleares e do movimento ambientalista. Conforme descrito antes, a energia nuclear na Suécia sofria de superprodução. Os reatores operavam a potência reduzida porque não havia demanda para a eletricidade que eles podiam produzir mesmo em curto prazo e a preço de custo marginal. As companhias energéticas buscavam meios para aumentar a demanda por eletricidade. A única opção num período curto de tempo para aumentar a demanda era aumentar o aquecimento via resistências elétricas. Na época, óleo e carvão eram as fontes competidoras de calor e de quem a eletricidade poderia ganhar uma parte do mercado como um resultado da taxação dos combustíveis fósseis.

Os ambientalistas tinham pedido uma taxação geral sobre todo o carbono emitido por combustíveis fósseis. Do ponto de vista dos produtores de eletricidade, que queriam aumentar as vendas de eletricidade para finalidade de aquecimento, isso não era atraente. O aquecimento demanda picos no inverno, quando a capacidade hidrelétrica e nuclear não pode satisfazer a demanda de energia. Com uma taxa de carbono sobre a produção de eletricidade baseada em fósseis, os preços de custo marginal fariam o uso do aquecimento por resistências elétricas muito caro.

Em vez disso, foi introduzido um imposto do carbono que se aplicava a combustível fóssil usado para produzir calor, mas não ao combustível fóssil usado para produzir eletricidade. Como foi descrito antes, isso foi um sucesso para introduzir tecnologia bioenergética e aumentou suficientemente o uso de bioenergia para reduzir seus custos. Mas existem conseqüências não antecipadas que devem ser mencionadas.

Se a eletricidade é produzida a partir de vapor e do calor residual lançado no mar, nenhum imposto de carbono é pago sobre o combustível. Todavia, se o calor residual é fornecido à rede distrital de aquecimento, então um imposto do carbono é atribuído para a fração de combustível que termina como calor comercial. Como o imposto de carbono sobre carvão é maior que o preço do carvão, isso foi um desastre para usinas de co-geração alimentadas com combustível fóssil em competição com a menos eficiente produção de energia baseada em fóssil. Lembrando a batalha entre companhias locais de energia, tentando expandir a co-geração e as companhias energéticas, isso parece uma outra vitória política das companhias energéticas.

Desde 2003, um sistema de certificados verdes para eletricidade renovável tem apoiado o uso de bioenergia para produção de eletricidade assegurando que nenhum combustível fóssil seja usado nas usinas de co-geração (Kåberger et al., 2004).

### **Regulação potencial da responsabilidade econômica por acidentes em reatores nucleares**

Em 1957, um estudo realizado no Laboratório Nacional de Brookhaven nos Estados Unidos, no interesse da Comissão de Energia Atômica, descreveu as conseqüências catastróficas de um acidente numa usina civil de energia nuclear (Beck et al., 1957).

A indústria nuclear dos Estados Unidos chegou à conclusão de que, se a indústria nuclear tivesse que assumir responsabilidade econômica por acidentes com reator, não haveria indústrias comerciais de energia nuclear. Para evitar esses custos, a indústria solicitou uma proposta de legislação a um grupo de especialistas que tornaria a energia nuclear rentável pela socialização dos custos de possíveis acidentes. A proposta (Murphy et al., 1957) e a lei resultante chamada Price-Anderson Act, do nome dos dois políticos que a implementaram, serviram como modelo para a legislação relativa a acidentes nucleares em todos os países que tenham reatores nucleares privados. Os elementos principais são:

1. No caso de um acidente com um reator nuclear, existe apenas uma companhia ou pessoa que pode ser tomada como responsável e que é a operadora.

Isso é importante, pois todos os fornecedores são isentos do risco que equipamentos defeituosos ou erros durante a construção que possam implicar conseqüências econômicas fossem a causa de acidentes do reator. Sem essa componente da legislação, todos os fornecedores para usinas nucleares teriam que manter preços mais altos para cobrir o custo da responsabilidade nos acidentes que seus erros pudessem causar.

2. A responsabilidade econômica da operadora no caso de um acidente grave do reator é estritamente limitada a uma quantia bem abaixo do custo potencial de um acidente grave.

Essa componente da legislação tem dois aspectos importantes. Sem uma responsabilidade limitada em um acidente, a operadora encararia falência no caso de um acidente grave. Aos bancos que considerassem o empréstimo de dinheiro a uma companhia operadora, o risco de falência seria uma razão para aumentar a taxa de juros para compensar pelo seu risco de perda de dinheiro no caso de um acidente. Taxas de juros aumentadas iriam levar a mais altos custos e menor competitividade da usina nuclear.

Na Suécia, a lei foi baseada em uma comissão governamental sobre responsabilidade nuclear. Eles justificaram o subsídio com o argumento de “que é necessário utilizar a energia nuclear – a qualquer custo – se nós quisermos evitar declínio econômico” (SOU, 1959, p.34 e 25).

A introdução da legislação de responsabilidade é uma expressão decisiva de política energética. A lei tem implicações econômicas imediatas e significativas para a competitividade da tecnologia energética.

Pode-se imaginar uma alternativa para essa legislação, o tipo imposto aos proprietários de automóveis. Descobriu-se, quando o automóvel se tornou popular, que havia pessoas que poderiam comprar e dirigir um carro, mas que eram incapazes de pagar os custos resultantes de acidentes que os carros poderiam causar. Permitir aos motoristas fugir ao pagamento causou um problema societário quanto a decidir como compensar as vítimas dos acidentes. Como resultado, a maioria dos países introduziu uma legislação de seguro obrigatório para permitir aos carros trafegar nas ruas – um seguro que deveria cobrir o custo total de raríssimos acidentes que pudessem custar cem a dez mil vezes o preço de um carro.

Um país que deseje estabelecer um mercado competitivo e justo deve impor uma legislação semelhante para reatores nucleares. A máxima quantia de dinheiro necessária para compensar todas as vítimas de um acidente nuclear pode ser da ordem de vários trilhões de dólares (1.000.000.000.000). De acordo com as afirmações públicas feitas pelos governos da Ucrânia e da Bielorrússia, os custos do acidente de Chernobyl são da ordem de algumas centenas de bilhões de dólares.

Um bilhão de dólares não pode ser facilmente pago pelo orçamento estatal de qualquer país. Nem mesmo em uma grande nação esse custo é facilmente distribuído. O acidente de Chernobyl foi uma boa razão para que a relativamente rica Rússia retirasse dos recursos da União Soviética as custosas consequências do acidente ocorrido nas regiões mais pobres da União: Ucrânia e Bielorrússia.

É possível encontrar soluções do tipo de seguro para compartilhar tais riscos via mercados internacionais de capital. Radetzki & Radetzki (2000) descrevem como isso pode ser feito. As operadoras poderiam ser forçadas a vender ações da catástrofe para coletar suficiente capital para compensar as vítimas de grandes acidentes. Tais ações perderiam seu valor no caso de acidente com reator, e, para conseguir capital voluntário, a operadora de reator teria que pagar um juro extraprêmio nas ações.

Mediante acordos compulsórios desse tipo, haveria a criação de um valor de mercado para riscos de acidentes nucleares. O custo desse risco teria que ser pago pelas operadoras de energia nuclear, reduzindo sua competitividade em relação às novas tecnologias energéticas. A política antinuclear na Suécia avançou até a desativação por lei de um reator em operação. Mas o Parlamento não decidiu retirar da legislação o subsídio de responsabilidade por acidente.

### **Responsabilidade econômica pelos custos de lixo nuclear**

Assim que um reator nuclear tiver sido posto em operação e for contaminado por radioatividade, a desativação da usina e a estocagem dos resíduos radioativos custarão dinheiro no futuro. Se incluirmos o custo do manejo do lixo do combustível nuclear usado por milhares de futuras gerações, o custo de encerramento da usina pode ser maior que o custo para construí-la.

O custo direto do manejo do lixo nuclear pode não ser tudo, ou mesmo a parte mais importante dos custos totais. Acidentes com lixo e emissões radioativas resultantes, sabotagem futura ou uso deliberado do material produzido pelos reatores para construção de armas nucleares poderão causar conseqüências importantes até milhares de anos no futuro.

Existem incertezas sobre quais métodos podem ser usados e qual será o custo real do manejo de lixo. Uma lição importante pôde ser aprendida quando o governo britânico preparou a privatização de usinas nucleares em 1987. Os investidores privados, considerando assumir as usinas e operá-las no mercado competitivo de energia, alteraram significativamente as estimativas de desativação e manejo do lixo. Houve um aumento grosseiramente estimado de dez vezes nos custos futuros (ver MacKerron, 1991).

Quando as incertezas são tão grandes, como no caso do manejo de lixo nuclear, é importante saber sob quais condições foi levantado o custo estimado. Antes de tentar a privatização na Grã-Bretanha, os reatores nucleares operaram sob monopólio do governo. As pessoas do Departamento de Energia Nuclear desse monopólio tinham todo o interesse em produzir baixas estimativas para o custo do manejo do lixo. Baixo custo faria a energia nuclear parecer mais competitiva e aumentaria a possibilidade de maiores investimentos e crescimento do Departamento Nuclear. Se as estimativas se revelassem baixas, isso não seria considerado um problema. A companhia monopólica poderia simplesmente aumentar seus preços para levantar o dinheiro necessário para o manejo do lixo. Se isso se mostrasse impossível, eles poderiam confiar nos proprietários dos reatores e do problema do lixo: os contribuintes.

Os investidores privados estavam em uma situação inteiramente diferente. Eles não tinham nenhum motivo para subestimar o custo do lixo. Eles apenas queriam a melhor estimativa possível para poder fazer uma oferta suficientemente alta para obter os reatores, mas suficientemente baixa para garantir lucros futuros. Eles sabiam, contudo, que encarariam um mercado competitivo de eletricidade. Desse modo, também sabiam que eles não seriam capazes de aumentar o preço da eletricidade para levantar o dinheiro necessário, no futuro, para o manejo do lixo. Eles também sabiam que não gostariam de apelar para os proprietários. Os proprietários seriam eles mesmos os investidores.

Os custos administrativos reais no futuro dependerão também de quão perigosa se tornar a poluição radioativa no futuro. Durante as últimas poucas décadas de contaminação radioativa, os conhecimentos sobre riscos de câncer e de efeitos genéticos acumularam-se vagarosamente. Pode ser relevante distinguir, por um lado, entre os efeitos de radiação externa, causados por explosões nucleares distantes ou geradores de raios X, e, por outro, por doses a que foi submetida uma particular célula por uma cadeia de decaimento de poluição radioativa ingerida. Tais distinções podem proporcionar uma compreensão dos mecanismos de aparecimento de conjuntos de leucemia encontrados ao redor das usinas de reprocessamento na Europa (Gardner et al., 1990; Guizard et al., 2001).

As organizações científicas estabelecidas, como a Comissão Internacional de Proteção da Radiação (ICRP), têm passo a passo aumentado as suas estimativas de risco, com o risco de câncer aumentando na ordem de dez nos últimos trinta anos.

Como as estimativas de risco aumentam, mais medidas de segurança são necessárias no manuseio do lixo. São necessárias facilidades de armazenamento mais caras, e trazer o lixo para os depósitos torna-se mais caro porque a proteção aos trabalhadores faz o manuseio do lixo mais difícil.

É importante para uma competição justa com as novas fontes de energia que esses custos administrativos não sejam socializados. Mas isso não é suficiente para assegurar uma administração econômica apropriada do lixo radiativo.

Em razão dos longos períodos de tempo envolvidos, a indústria nuclear pode assumir que, quando o lixo tiver que ser administrado ou ocorrerem danos de má administração, as companhias nucleares não mais existirão. Na Suécia, admite-se que o custo da administração do lixo nuclear será coberto pelas operadoras do reator nuclear. Os proprietários das usinas nucleares formaram companhias de responsabilidade limitada possuindo os reatores, e às *holdings* caberiam todas as responsabilidades ligadas à usina. Enquanto elas forem lucrativas, os lucros são passados ao proprietário; mas, quando os reatores são fechados e apenas restam custos, elas podem declarar falência. Pela legislação que confere responsabilidade estritamente limitada, o proprietário poderia escapar dos custos reais.

Inicialmente, o Parlamento sueco tinha imposto uma legislação que forçava os proprietários a contribuir para um fundo de administração do lixo sob supervisão do governo, que deveria cobrir os custos planejados de administração do lixo nuclear.

Em uma comissão do governo em 1994, descobrimos que esse sistema não era suficiente. As estimativas de custo eram tão incertas que houve necessidade de que a indústria devesse prover uma capacidade de pagamento confiável para cobrir pelo menos os custos potenciais de administração durante o próximo século. Como esses custos eram incertos, ela não poderia facilmente justificar uma acumulação adicional de fundos, além dos custos planejados. Em vez disso, admitiu-se que a indústria proveria apólices econômicas que poderiam ser usadas se o custo real se tornasse maior que os custos planejados já cobertos pelo dinheiro acumulado no fundo (reportado em SOU, 1994, p.107-8). Essas apólices são atualmente da ordem de um bilhão de dólares americanos.

#### Referências bibliográficas

ANSHELM, J. *Mellan frälsning och domedag: om kärnkraftens politiska idéhistoria i Sverige 1945-1999*. Eslöv: Symposion, 2000.

AZAR, C. et al. The feasibility of large-scale lignocellulose-based bioenergy production. *Biomass and Bioenergy*, v.20, p.371-83, 2001.

- BECK, C. K. et al. *Theoretical Possibilities and consequences of major accidents in large nuclear power plants* – a study of possible but highly improbable, were to occur in large nuclear plants. Washington: United States Atomic Energy Commission, 1957.
- GARDNER, M. et al. Results of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. *British Medical Journal*, v.300, p.423-34, 1990.
- GUIZARD, A.-V. et al. The incidence of childhood leukaemia around the La Hague nuclear waste reprocessing plant (France): a survey for the years 1978-1998. *Journal of Epidemiological Community Health*, v.55, p.469-74, 2001.
- HIBBS, M. Power intensive industry led nuclear comeback, Fogelström says. *Nuclear week*, May 23, 1991.
- JASPER, J. *Energy and the State: Nuclear Politics in the United States, Sweden and France*. Princeton University Press, 1990.
- JOHANSSON, T. B. Sweden's Abortive Nuclear Weapons Project. *Bulletin of the Atomic Scientists*, v.42, n.3, p.31-4, 1986.
- JONSSON, O. et al. *Environmental taxes in Sweden* – economic instruments of environmental policy. Swedish Environmental Protection Agency Report 4745. Stockholm, 1997.
- KÅBERGER, T. On the Economic Conditions of Suitability Assessments. Presentation at Endlager Hearing, Braunschweig September 21-23. Niedersächsisches Umweltministerium, 1993.
- \_\_\_\_\_. *Barsebäck blev plötsligt lönsamt*. Finanstidningen, 1997a.
- \_\_\_\_\_. A Comment on the paper by Roger Sedjo. *Energy Policy*, v.25, n.6, p.567-69, 1997b.
- KÅBERGER, T. et al. Economic Efficiency of Compulsory Green Electricity Quotas in Sweden. *Energy and Environment*, v.15, n.4, p.675-97, s. d.
- KÅGESON, P. Elpriset. *Källa*, n.3, p.19, FRN Stockholm, 1980.
- KAIJSER, A. Redirecting Power: Swedish Nuclear Power Policies in an Historical Perspective. *Annual Review of Energy and the Environment*, v.17, p.437-62, 1992.
- LARSSON, C. Historien om en svensk atombomb. *Ny Teknik*, n.17, p.33-83, n.18, p.4-9, n.19, p.4-10, n.20, p.4-8, 1985.
- LEIJONHUFVUD, S. Parentes? – En historia om Svensk kärnkraft. ABB Atom, Västerås. 1994.
- LINDSTRÖM, S. *Hela Nationens Tacksambhet, Svensk forskningspolitik på atomenergiområdet 1945-1956*. Stockholm, 1991. Thesis – Dept of Political Science, Stockholm University.
- LINDQUIST, P. Det Klyvbara ämnet: Diskursiva ordningar i svensk kärnkraftspolitik 1972-1980. *Lund Dissertations in Sociology*, n.18, 1997.
- LUNDGREN, L. J. *Energipolitik i Sverige 1890-1975*. Stockholm: Sekretariatet för framtidsstudier, 1978.
- MACKERRON, G. Decommissioning costs and British Nuclear Policy. *The Energy Journal*, v.12, p.13-28, 1991.

- MILLQVIST, R. et al. *Kärnkraftens kostnader* – en samhällsekonomisk studie. Stokholm: Modin-Tryck AB, 1979.
- MURPHY, A. W. et al. *Financial protection against atomic hazards*. New York: Atomic Industrial Forum, Inc., 1957.
- NORD-POOL 2001: as viewed 2001-10-05.
- OECD. *Liability and Compensation for Nuclear Damage – An International Overview*. Paris: OECD, 1994.
- PIGOU, A. C. *The Economics of Welfare*. London, 1920 (4.ed. Macmillan, 1932).
- RADETZKI M.; RADETZKI, M. The Liability of Nuclear and Other Industrial Corporations for Large-Scale Industrial Damages. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, v.15, n.4, 1997.
- \_\_\_\_\_. Private Arrangements to Cover Large-Scale Liabilities Caused by Nuclear and Other Industrial Catastrophes. *Geneva Papers on Risk and Insurance*, v.25, n.2, April 2000.
- RIKSKOMMITTÉN for linje 2 1980: Förslag till avveckling av det svenska kärnkraft-programmet. Stockholm.
- SAHR, R. *The Politics of Energy Policy Change in Sweden*. Ann Arbour: University of Michigan Press Co., 1985.
- SINTORN, J. *Ny Teknik*, 1990, p.45.
- SOU 1974:64 *Energi* 1985-2000.
- SOU 1959:34 Om atomansvarighet.
- SOU 1994:107/108.
- STÅHL, K.; NERGAARD, M. IGCC Power Plant for Biomass Utilization, Värnamo, Sweden. *Biomass and Bioenergy*, v.15, p.205-11, 1998.
- SWAHN, J. The long-term nuclear explosives predicament. Göteborg, 1992. Thesis – Technical Peace Research Group, Chalmers University of Technology.
- TENGSTRÖM, E. et al. *Energin, makten och framtiden*. Stem 1989:R165, Stockholm, 1985.
- WEC 1995: Report of the WEC Tokyo 8-13 October 1995.
- WIKDAHL, C. E. Sweden: Nuclear power policy and public opinion. *IAEA Bulletin*, n.1, p.29-33, 1991.

*Tomas Käberger* é pesquisador do International Institute for Industrial Environmental Economics, Suécia. @ – tomas.kaberger@iiee.lu.se

Tradução de Yvonne P. Mascarenhas (Instituto de Física da USP-São Carlos). O original em inglês – “Swedish Nuclear Power Story” – encontra-se à disposição do leitor no IEA-USP para eventual consulta.

Recebido em 22.2.2007 e aceito em 27.2.2007.