

## Tratando as nanopartículas com precaução: reconhecendo a incerteza qualitativa na avaliação científica do risco<sup>1</sup>

*Fern Wickson<sup>2</sup>*  
*Froydis Gillund<sup>3</sup>*  
*Anne Ingeborg Myhr<sup>4</sup>*

Invenções científicas e tecnologias, como a nanotecnologia, interagem com sistemas ecológicos e sociais complexos em vários níveis e têm o potencial de causar consequências ímpares e sem precedentes. Isso traz desafios para abordagens de avaliação de risco convencionais, as quais pressupõem que não apenas é possível prever os riscos potenciais de novas tecnologias com precisão através de métodos científicos, mas também que existe uma clara distinção entre uma avaliação de risco factual e objetiva realizada por um especialista, e uma avaliação de risco normativa / baseada em valores. Neste artigo descrevemos várias formas qualitativas de incerteza e procuramos demonstrar como valores, crenças e interesses estão, inevitavelmente, emaranhados na ciência envolvida em processos de avaliação de risco. Em seguida, apresentamos dois referenciais disponíveis para a exposição e a análise das formas qualitativas de incerteza na ciência orientada à formulação

- 1 Originalmente publicado como: Wickson, F., Gillund, F. & Myhr, A. (2010) "Treating Nanoparticles with Precaution: Recognising Qualitative Uncertainty in Scientific Risk Assessment" in Kjølborg, K. & Wickson, F. (eds) Nano meets Macro: Social perspectives on nanoscale sciences and technologies. Singapore: Pan Stanford Publishing, pp. 445-472. Traduzido por: Luiz Armando Silveiro Sozinho. Revisão técnica por: Julia S. Guivant.
- 2 Fern Wickson é pesquisador no GenØk Centre for Biosafety, da Noruega, com PhD transdisciplinar na Schools of Biological Sciences and Science, Technology and Society da University of Wollongong (Austrália).
- 3 Frøydis Gillund é PhD pelo GenØk Centre for Biosafety, da Noruega, e pesquisa gestão de recursos naturais, entre outros temas.
- 4 Anne Ingeborg Myhr é pesquisadora do GenØk Centre for Biosafety, com Phd pela University of Tromsø (Noruega). Investiga os usos da engenharia genética e da nanotecnologia.

de políticas e descrevemos abordagens de precaução como uma alternativa à tomada de decisões baseada em riscos. Utilizamos as nanopartículas como um estudo de caso ilustrativo e argumentamos que a adoção de abordagens de precaução para a tomada de decisão implicaria necessariamente o reconhecimento da importância das formas qualitativas de incerteza, o que ajudaria a promover uma governança socialmente mais robusta e transparente deste campo emergente de desenvolvimento de tecnologia.

## 1. Introdução

Os formuladores de políticas dependem, em grande parte, dos pareceres científicos de especialistas para avaliar e tomar decisões sobre tecnologias emergentes. Geralmente, esse papel privilegiado da ciência na tomada de decisões é baseado na opinião de que a ciência oferece conhecimento objetivo, livre da influência de determinados valores, interesses ou crenças. Atualmente, a abordagem mais importante para a incorporação da ciência no processo de tomada de decisões políticas, especialmente para as novas tecnologias, é baseada no conceito de “risco” (WINNER, 1986). A abordagem baseada no risco para a tomada de decisões (ou o processo de análise de risco) é muitas vezes descrita como sendo composta de três etapas – avaliação de risco, gestão de risco e comunicação de risco. Segundo esta abordagem, primeiramente os cientistas realizam avaliações de risco, onde ocorre a identificação e o cálculo da probabilidade dos impactos adversos potenciais associados com a introdução de uma determinada tecnologia. Em seguida, os riscos identificados pelos cientistas são avaliados pelos formuladores de políticas, que decidem sobre a importância relativa dos riscos em questão e a forma como eles serão gerenciados. Por fim, após essas decisões terem sido tomadas, o público em geral é informado sobre os riscos e as iniciativas de gestão escolhidas. Uma característica fundamental desta abordagem convencional é que ela pressupõe uma clara distinção entre as fases de avaliação de risco factual e objetiva realizada por um especialista, e a de avaliação de risco normativa / baseada em valores.

Tanto a abordagem baseada no risco para a tomada de decisões quanto a separação clara que ela propõe entre a avaliação de risco objetiva e a gestão de risco baseada em valores, têm sido bastante questionadas pelo reconhecimento crescente da existência e do impacto de várias formas de incerteza. No entanto, as abordagens convencionais baseadas no risco para a tomada de decisões continuam a tratar a incerteza de uma forma puramente quantitativa, não reconhecendo outras formas mais qualitativas de incerteza. Neste artigo descreveremos os vários tipos de incerteza qualitativa e tentaremos mostrar como, mesmo na fase objetiva da chamada avaliação científica de risco, a presença dessas formas de incertezas significa que valores, crenças e interesses estão, inevitavelmente, emaranhados na ciência envolvida. Em seguida, delimitaremos dois referenciais disponíveis para a exposição e a análise destas formas mais qualitativas de incerteza – o quadro referencial de incerteza desenvolvido por Walker *et al.* (2003) e a noção de avaliação de genealogia sugerida por Funtowicz e Ravetz (1990). Após a descrição dessas abordagens, examinaremos a noção de abordagens de precaução como alternativa à tomada de decisões baseada no risco. Usamos o caso das nanopartículas para ilustrar nossos argumentos sobre a influência dos valores na avaliação científica do risco, a importância do reconhecimento das várias formas de incerteza, e as diferenças que podem acarretar uma abordagem de precaução para a governança.

## 2. Risco e ciência no processo decisório

Em sua tese bastante citada, Ulrich Beck (1992) sugeriu que o risco é, atualmente, o princípio organizador dominante das sociedades ocidentais modernas. De acordo com Beck, nas modernas sociedades ocidentais tornamo-nos cada vez mais conscientes de como a aplicação da ciência e tecnologia pode ser acompanhada de efeitos adversos indesejados e, posteriormente, ficamos cada vez mais preocupados com a forma de lidar com os problemas

resultantes do desenvolvimento tecnológico. Beck (1992) descreve esse cenário como a representação de uma nova fase da modernidade, uma fase em que a principal preocupação não é mais com a produção e distribuição de bens, mas com a produção e distribuição de 'males' (conceituados como riscos). Na discussão de Beck, portanto, o atual contexto social é aquele em que os novos desenvolvimentos tecnológicos são cada vez mais escrutinados para averiguação dos potenciais impactos sobre os ambientes sociais e biológicos, e esse controle é cada vez mais estruturado em torno da noção de risco.

As abordagens convencionais baseadas no risco para a tomada de decisões consideram o processo de análise de risco como a principal maneira de orientar a formulação de políticas na tentativa de promover benefícios e evitar consequências indesejáveis. Tecnicamente, o risco é muitas vezes definido como a probabilidade de ocorrência de um perigo (ou evento indesejável), multiplicada pela magnitude do respectivo impacto. É importante ressaltar que as abordagens convencionais baseadas no risco presumem que é possível prever os riscos potenciais (e as probabilidades associadas a esses riscos) com precisão e calculá-los através de métodos científicos. A imagem geral e amplamente divulgada da ciência é a de um processo que produz fatos e teorias verificáveis, reproduzíveis e, portanto, confiáveis e objetivos, a respeito do mundo material e biológico. Dentro da ciência em geral e sua abordagem de avaliação de risco, a incerteza é geralmente caracterizada como passível de representação quantitativa (por exemplo, em termos estatísticos) e redutível por meio de pesquisas suplementares (STIRLING; GEE, 2002; STIRLING, 2006, 2007). Esses entendimentos asseguraram o ponto de vista atualmente predominante de que os pareceres científicos e o processo de avaliação de risco merecem uma posição privilegiada nos processos de decisão.

Por tradição, a ciência tem sido dominada pelo reducionismo. Isto é evidente tanto na crença metodológica de que a melhor maneira de compreender os sistemas e processos complexos é reduzi-los aos seus componentes funcionais menores ou mais

fundamentais, e na crença ontológica de que o sistema em si não é nada mais do que a soma destes componentes. Recentemente, no entanto, a experiência de consequências inesperadas e indesejadas do desenvolvimento industrial e tecnológico (como os impactos negativos para a saúde e o ambiente dos pesticidas químicos, amianto, chumbo, etc.) resultou no crescente reconhecimento de que é necessária uma nova abordagem. A abordagem de tradição reducionista, indiscutivelmente, limitou a capacidade da ciência de perceber os efeitos potenciais aditivos, cumulativos, sinérgicos e indiretos associados às novas tecnologias (STIRLING; GEE, 2002). Há, no entanto, campos emergentes dentro da ciência que visam levar em consideração a complexidade. Campos como a biologia de sistemas, o pensamento resiliente, a economia ecológica e ciência de sustentabilidade (consulte, por exemplo, BAUMGÄRTNER *et al.*, 2008; BERKES, 2007; KITANO, 2002; KATES *et al.*, 2001), sublinham a necessidade de estudar “sistemas como totalidades” e investigar a dinâmica, as interações, os intercâmbios de opiniões (*feedback loops*), a auto-organização e a capacidade de resposta nestes sistemas em uma perspectiva de longo prazo e larga escala. Este deslocamento da ciência em direção ao pensamento sistêmico tem gerado uma maior sensibilidade para a incerteza e uma maior consciência das diferentes formas que ela pode assumir.

### 3. Tipos de incerteza

De acordo com Prigogine (1980), a imprevisibilidade é uma característica fundamental dos sistemas complexos. Invenções científicas e tecnologias como a nanotecnologia interferem nestes sistemas complexos em vários níveis e, portanto, têm o potencial de causar consequências novas, sem precedentes. Assim, talvez um número maior de pesquisas não reduza, necessariamente, a incerteza; em vez disso, talvez aumente e/ou resulte em uma maior consciência das várias formas de incerteza que caracterizam estes sistemas. Várias tipologias que caracterizam os diferentes tipos

de incerteza surgiram recentemente (por exemplo, WALKER *et al.*, 2003; WYNNE, 1992; STIRLING, 1999a&b; STIRLING; GEE, 2002; FABER *et al.* 1992; FELT; WYNNE, 2007; FUNTOWICZ; RAVETZ, 1993) e têm repercussões importantes para o papel da ciência na tomada de decisões sobre as tecnologias emergentes. Embora as tipologias sejam diferentes na forma como estabelecem limites de distinção e definem o que constitui as diversas formas de incerteza, acreditamos que alguns padrões podem ser extraídos e desenvolvidos em categorias úteis em termos conceituais. A tipologia das diferentes formas de incerteza que apresentamos a seguir é, portanto, uma síntese que se baseia nas referências listadas acima.

Em primeiro lugar, o termo risco sempre implica incerteza até certo ponto. Se tivéssemos certeza de que ocorreria (ou não) um impacto específico, falaríamos a respeito disso como se fosse uma certeza, não um “risco”. De acordo com tipologias recentes, no entanto, o termo risco é considerado bastante relevante para as situações em que é possível caracterizar razoavelmente bem tanto os resultados potenciais quanto as probabilidades associadas com estes resultados.

Assim, o termo *uncertainty* (incerteza) é aplicado às situações em que ocorre algum acordo sobre os resultados ou impactos potenciais de uma tecnologia ou ação, porém não há uma base forte para atribuir as probabilidades relevantes. Isso ocorre pela falta de informações relevantes, uma falta que pode ser reduzida através de novas pesquisas. Esta compreensão do risco e da incerteza é a tradicionalmente utilizada em processos de análise de risco. Como o termo ‘incerteza’ recebeu agora uma definição específica em nossa tipologia, seguiremos Stirling (1999a &b) e utilizaremos incerteza (*incertitude*) como o termo coletivo para as diferentes formas<sup>5</sup>. Os tipos mais qualitativos de incerteza que não recebem um bom tratamento das abordagens convencionais baseadas no risco para a tomada de decisões são denominados indeterminação, ambiguidade e ignorância.

5 Nota do tradutor: No artigo original, são utilizados os termos *uncertainty* e *incertitude*, ambos traduzíveis como incerteza em português, e portanto o termo “incerteza” é usado em todas as ocorrências de ambas as palavras.

A *indeterminação* se refere a um tipo qualitativo de incerteza que existe por causa da complexidade relativa aos resultados de previsão (e probabilidades) associados com a interação de vários sistemas naturais e sociais abertos (a situação em que nos encontramos quando ocorre o lançamento comercial de uma tecnologia fora das condições controladas de laboratório). Isto significa que o nosso conhecimento será sempre inerentemente incompleto, porque a ciência é simplesmente incapaz de levar em conta todos os elementos de um sistema dinâmico. Em outras palavras, todos os estudos científicos selecionam referenciais que são limitados na capacidade de incluir todos os fatores de uma realidade complexa e dinâmica. Embora as várias formas de ciência sistêmica mencionadas anteriormente sejam certamente mais abrangentes e mais favoráveis do que as abordagens reducionistas para explicar os impactos sociais e biológicos de novas tecnologias, a indeterminação sugere que mesmo tais formas serão incapazes de dar conta de todos os fatores e interações relevantes. A indeterminação implica, portanto, que devemos esperar surpresas e reconhecer que o nosso conhecimento é sempre parcial e condicional.

A ambiguidade é um tipo de incerteza que resulta de informações contraditórias e/ou a existência de pressupostos referenciais e valores divergentes. Com isto queremos dizer que podem existir diversos referenciais para um problema – diferentes maneiras possíveis de compreender e abordar os problemas e interpretar os resultados. Este potencial de diversos referenciais existe tanto na ciência (especialmente evidente na maneira como diferentes disciplinas abordam questões específicas) quanto na arena sociopolítica (a maneira pela qual interesses, perspectivas e referenciais de valor diversos dão forma aos entendimentos de questões específicas). Isto significa que haverá diferentes abordagens para a geração de conhecimento, interpretações diferentes do significado do conhecimento gerado, diferentes formas de avaliar a qualidade e a força do conhecimento e diferentes entendimentos de como agir à luz

do conhecimento. Stirling (2007) fornece uma lista útil de locais onde a ambiguidade pode se manifestar na elaboração das avaliações científicas dos riscos, a partir da definição dos problemas e da formulação das hipóteses, em direção à escolha de ferramentas e métodos para o estudo e a respectiva análise, e a interpretação e comunicação dos resultados. Determinar os níveis de significância que são considerados adequados é também uma escolha baseada em valores. A ambiguidade, como uma forma de incerteza, implica o reconhecimento da diversidade de referenciais possíveis, a negociação por meio de outros referenciais, sempre que possível, e, pelo menos, a transparência sobre os referenciais específicos que escolhemos, bem como as razões para tal escolha.

Finalmente, é possível descrever a *ignorância* como a nossa incapacidade de conceituar, articular e considerar os resultados e as relações causais que se encontram fora dos referenciais de compreensão atuais. A ignorância foi descrita como as coisas as quais “não sabemos que não sabemos” e representa uma incapacidade de fazer as perguntas certas, em vez do fracasso em fornecer as respostas certas. A ideia, aqui, é que haverá impactos potenciais sobre os quais ainda não refletimos, que ainda nem mesmo imaginamos serem possíveis. Um exemplo ilustrativo é a nossa ignorância anterior sobre o potencial de produtos químicos que atuam como desreguladores endócrinos, ou sobre o potencial de destruição do ozônio dos clorofluorcarbonos. Embora seja possível sugerir que não há nada que se possa fazer em relação às coisas que não sabemos que não sabemos, talvez a melhor abordagem para essa situação seja não “apostar todas as fichas em um mesmo número” e tentar seguir uma gama de opções políticas diversas de modo a manter a resiliência, a flexibilidade e a reversibilidade, bem como monitorar surpresas potenciais de forma consistente e vigilante.

**Tabela 1** – Tipologia da Incerteza na Ciência orientada à formulação de Políticas

Tipo de Incerteza	Explicação
FORMAS QUANTITATIVAS	
Risco (Probabilidade calculada)	Podemos imaginar o possível impacto e calcular a probabilidade de ocorrência desse impacto, mesmo que não saibamos se ocorrerá ou não.
Incerteza (Não calculada até agora)	Podemos imaginar o possível impacto, mas não sabemos a probabilidade de ocorrência desse impacto. É possível calcular tal probabilidade, porém ainda não dispomos de conhecimento suficiente para isso.
FORMAS QUALITATIVAS	
Indeterminação (Impossível calcular completamente)	Para sistemas complexos, abertos e interativos, é possível incluir todos os fatores e interações relevantes nos cálculos; portanto, o conhecimento é condicional e falível.
Ambiguidade (Formas diversas de estruturar um cálculo)	Podemos, de diversas formas, referenciar tanto os impactos nos quais temos interesse quanto a forma com que abordamos, interpretamos e compreendemos o conhecimento e os cálculos gerados em função desses impactos.
Ignorância (Desconhecimento do que deve ser calculado)	(Não conseguimos imaginar o possível impacto. Não apenas ainda não calculamos a probabilidade do evento, como também desconhecemos o propósito dos cálculos.

Ao fornecer uma maneira de conceituar as diferentes formas de incerteza (ver Tabela 1), esta tipologia permite observar de que forma as avaliações de risco geralmente não conseguem levar em consideração a incerteza qualitativa sob a forma de ambiguidade, indeterminação, ignorância, e até mesmo a incerteza em alguns casos (STIRLING; GEE 2002; WYNNE, 1992). Em especial, esta tipologia enfatiza que são possíveis várias descrições plausíveis de sistemas complexos e seus respectivos processos (CILLIERS, 2005), e que todas essas descrições são potencialmente falíveis. Isto, por sua vez, destaca como os cientistas inevitavelmente estruturam avaliações de risco de determinadas maneiras e como essas escolhas de estruturação refletem pressupostos subjacentes, visões de mundo, valores e interesses dos cientistas e das disciplinas científicas envolvidas (STIRLING, 1999a; STIRLING; GEE, 2002; STIRLING, 2006, 2007).

#### 4. Incerteza no caso das nanopartículas

Pode-se observar que as preocupações sobre os efeitos adversos potenciais das nanopartículas estão, em essência, relacionadas aos seguintes fatores (EC SANCO, 2004; NANOFORUM, 2004; REAL SOCIEDADE E REAL ACADEMIA DE ENGENHARIA, 2004; COMISSÃO REAL SOBRE POLUIÇÃO AMBIENTAL, 2008):

1. A grande área de superfície em relação ao volume. Esta característica aumenta a reatividade das nanopartículas e significa que algumas podem ser mais tóxicas por unidade de massa do que seus homólogos em massa; além disso, pode facilitar o transporte no meio ambiente e em tecidos e órgãos humanos/animais.

2. O tamanho pequeno. Partículas ultrafinas têm comportamento biológico e mobilidade diferentes do que partículas de maiores dimensões, com nenhuma relação linear entre massa e efeito. *Prima facie*, é provável que as nanopartículas sejam absorvidas pelas células mais prontamente do que as partículas maiores.

3. “Invisibilidade” física e metodológica. Esta característica significa que essas partículas podem ser distribuídas acidentalmente aos sistemas vivos através do ar, solo e água, com o potencial de causar danos a plantas, animais e seres humanos sem métodos de detecção padronizados e eficientes disponíveis.

No caso das nanopartículas e das preocupações sobre os potenciais efeitos adversos que elas podem causar à saúde humana e ao meio ambiente, pode-se argumentar que não estamos, absolutamente, em condições de avaliar riscos. Isso ocorre porque existem sérias lacunas de conhecimento inibindo nossa capacidade de realizar a avaliação de risco em nanopartículas no que se refere à extensão dos impactos, o cálculo das probabilidades desses impactos, e a multiplicação dessas probabilidades pelas magnitudes previstas (COMISSÃO REAL SOBRE POLUIÇÃO AMBIENTAL, 2008). Esta situação de incerteza começa de forma muito básica, com a falta de conhecimento sobre como caracterizar, detectar e medir diferentes nanopartículas com precisão (EFSA, 2008). Há também

informações muito limitadas sobre os níveis prováveis de exposição, relações de dose-resposta, modos de ação e destino no meio ambiente que são agravadas pela falta de equipamentos e procedimentos de teste estabelecidos e padronizados (MYHR; DALMODE, 2007; WICKSON *et al.*, no prelo, COMISSÃO REAL SOBRE POLUIÇÃO AMBIENTAL, 2008). No entanto, tudo isso se refere à incerteza que, sem dúvida, pode ser reduzida através de novas pesquisas.

De fato, cada vez mais estudos sobre ecotoxicidade estão começando a apresentar evidências empíricas de que a exposição ocupacional e ambiental às nanopartículas pode acarretar efeitos adversos à saúde (consulte, por exemplo, a visão geral apresentada por MÜLLER & RYE, neste volume). No entanto, quase todos os estudos atuais sobre os efeitos adversos potenciais das nanopartículas versam sobre os efeitos agudos, em vez dos crônicos, dirigindo-se à área da saúde; quase não havendo estudos sobre a) mobilidade das nanopartículas em ar, água, e sedimentos; b) biodisponibilidade e transferência entre organismos; c) ecotoxicologia nos organismos a partir de nanopartículas fixas; d) capacidade das nanopartículas de atuarem como veículos para contaminantes tóxicos maiores. Isto significa que estas são áreas onde podem surgir efeitos inesperados a curto ou longo prazo. Foi sugerido que talvez sejam necessárias décadas de pesquisa antes de estarmos em condições de avaliar os riscos das nanopartículas para a saúde humana e ambiental (COMISSÃO REAL SOBRE POLUIÇÃO AMBIENTAL, 2008).

No entanto, o que estamos discutindo neste artigo (junto com outros pesquisadores; consulte, por exemplo, RENN, 1998; MAYO; HOLLANDER, 1991; WYNNE, 1992), é que não apenas a incerteza (a atual falta de conhecimento) é um problema para abordagens baseadas no risco para a tomada de decisões, mas que também os outros tipos de incerteza, mais qualitativos, descritos acima, também representam um sério desafio para os formuladores de políticas. Para auxiliar o entendimento da ideia e da importância das várias formas de incerteza no caso das nanopartículas, empregamos um exemplo hipotético abaixo.

**Quadro 1: Incerteza na Ciência orientada para a formulação de Políticas: Exemplo hipotético da toxicologia das nanopartículas**

Susan é uma formuladora de políticas que trabalha para o governo de Fiji. Ela tem a responsabilidade de decidir se permite ou não a venda comercial de produtos que contêm dois tipos diferentes de nanopartículas (x e y). Para ajudá-la a decidir se esses produtos são seguros para a saúde humana e do meio ambiente, ela designou um comitê científico consultivo especializado. Este comitê reviu a literatura científica e descobriu que vários estudos realizados examinaram os efeitos que a inalação de nanopartículas x produz em ratos. Perante esta base de informações científicas, Susan se depara com diferentes tipos de incerteza, dependendo das perguntas pelas quais tem interesse e os tipos de estudos que estão disponíveis.

**Risco**

Os estudos científicos disponíveis significam que o comitê de especialistas, sem dúvida, tem uma base razoável para o cálculo da probabilidade dos ratos morrerem após a inalação de nanopartículas x. Portanto, se Susan estiver interessada na possibilidade da morte dos ratos após a inalação das nanopartículas x, os estudos científicos disponíveis permitem que o comitê designado por Susan avalie esse risco.

**Incerteza**

Embora por meio da ciência disponível Susan possa estar bem informada sobre o risco da inalação de nanopartículas x por ratos, caso ela quisesse saber se os ratos morreriam após a inalação de nanopartículas y, provavelmente estaria em uma situação de incerteza, pois mais estudos experimentais teriam de ser realizados com nanopartículas y a fim de fornecer uma base razoável para o cálculo do risco envolvido.

**Indeterminação**

Caso Susan estivesse interessada em compreender o risco para os ratos no mundo real, e não sob condições controladas de laboratório, teria de admitir um grau de indeterminação no conhecimento de que dispõe, devido à forma com que os estudos disponíveis atualmente excluem uma série de fatores relevantes e interações potenciais, tais como rotas alternativas de exposição (a ingestão em vez da inalação das nanopartículas pelos ratos, por exemplo).

### **Ignorância**

Se Susan estivesse interessada nos riscos que as nanopartículas x e y representam para a vida dos ratos em um sentido geral, com o conhecimento atualmente disponível, sem dúvida continuaria desconhecendo o potencial que as nanopartículas possuem de matar ratos através de efeitos crônicos (longo prazo), sinérgicos (interativos), ou multitróficos (através da cadeia alimentar), ou o potencial de apresentarem efeitos não fatais - por exemplo, impactos negativos sobre a capacidade do sistema imunológico.

### **Ambiguidade**

Embora os estudos científicos disponíveis auxiliem Susan a tomar uma decisão, ela ainda enfrenta o problema da ambiguidade. Por exemplo, ela deve considerar e pesar a gama de respostas disponíveis para perguntas como: Que peso deve ser dado a diferentes procedimentos e métodos utilizados nos estudos científicos? Como devem ser interpretados os diversos resultados? De que forma os resultados com ratos nos ajudam a compreender os riscos para os seres humanos, morcegos ou besouros? Quem decide quais organismos são de interesse na avaliação? O foco deve ser apenas nos efeitos agudos letais, ou impactos como a redução das taxas reprodutivas também são de interesse? Nenhuma dessas questões tem respostas científicas claras, objetivas e indiscutíveis. Inevitavelmente, os estudos científicos que orientam a elaboração de políticas fazem uma série de escolhas e formulam pressupostos (sobre estas e uma série de outras questões) e, portanto, a despeito da extensão dos estudos que Susan tenha à disposição, é inevitável que ela enfrente o desafio da ambiguidade na ciência orientada para a formulação de políticas.

## **5. Análise da incerteza**

Segundo Sarewitz (2004), a incerteza se deve, em parte, ao fato de que cientistas de diferentes disciplinas conduzem pesquisas que resultam em afirmações de conhecimento contraditórias sobre o mesmo problema (uma forma daquilo que rotulamos de ambiguidade). Sarewitz utiliza a controvérsia científica sobre alimentos geneticamente modificados (GM) como um exemplo para mostrar como visões opostas em um debate podem ser relacionadas a visões disciplinares contrastantes sobre a natureza. As

principais preocupações dos ecologistas, por exemplo, são a interconectividade, a complexidade e a falta de previsibilidade e, conseqüentemente, a possibilidade de efeitos colaterais inesperados provenientes de culturas geneticamente modificadas. A genética molecular, por outro lado, está mais preocupada em controlar os atributos de organismos específicos e tende a enfatizar possíveis benefícios humanos. É possível encontrar suporte empírico para este tipo de divergência em Kvakkestad *et al.* (2007). A nanotecnologia é um esforço amplamente interdisciplinar, envolvendo áreas tão diversas quanto física, química, biologia, ciência dos materiais, ciências da informação e engenharia. Como essas diferentes disciplinas abordam a questão do risco? Que métodos e modelos essas disciplinas consideram adequados para identificar e reduzir o risco envolvido? Existe alguma base para supormos que não haverá divergências e debates semelhantes entre as diferentes disciplinas envolvidas na nanotecnologia, assim como ocorreu no caso dos cultivos transgênicos? Se houver discordância e debate entre as diferentes disciplinas, como isso deve ser tratado na tomada de decisões políticas cujo objetivo é ser baseada em “pareceres científicos sólidos”?

As escolhas feitas por cientistas na formulação e teste de hipóteses fornecem um bom e simples exemplo de como os valores permeiam a ciência. Normalmente, um dos dois tipos de hipótese será testado em pesquisas sobre risco ou toxicologia – H0: “Não há impacto negativo” e H1: “Há impacto negativo”. Por tradição, quando essas hipóteses são testadas e se determina o nível de significância estatística, há uma maior preocupação em evitar erros do tipo I (falsos positivos - situações em que se rejeita H0, afirma-se que haverá efeito negativo, mas na verdade não se manifestam conseqüências negativas). No entanto, o que esse foco acarreta é o aumento da chance de erros do tipo II (falsos negativos - situações em que você rejeita H1, afirma que não haverá efeito negativo, mas na verdade, ocorrem conseqüências adversas). O foco científico atual de evitar erros do tipo I (falsos positivos) acarreta a necessidade de uma forte evidência a fim de se afirmar que podem ocorrer conseqüências perigosas. Esta prática tem sido acusada de

favorecer os desenvolvedores de novas tecnologias em detrimento da saúde humana, animal e ambiental. Assim, a escolha dos tipos de erros que um cientista deseja evitar é um juízo de valor, e ambas as opções têm suas próprias armadilhas.

Embora raramente explícita, a ideia de que a ciência e os processos de avaliação de risco são inevitavelmente moldados por valores e interesses, e que estes variam nas diferentes disciplinas, em última análise, levanta a seguinte questão: a ciência (no singular) deve ter um papel privilegiado e autoritário como provedor de conhecimento para a tomada de decisões políticas? A inclusão ativa das diversas fontes de conhecimento, por exemplo, a gama de perspectivas disciplinares, bem como os conhecimentos do público e os conhecimentos de grupos de interesses específicos e partes afetadas, fomentam a expansão do âmbito dos processos de avaliação de risco (ASLAKSEN; MYHR, 2006) e aumentariam a transparência em torno da incerteza envolvida. A ciência, neste panorama, torna-se uma condição necessária, mas não suficiente, para a formulação de políticas para as novas tecnologias. Como uma fonte de conhecimento, a ciência se torna passível de escrutínio crítico e revisão por parte de uma série de perspectivas alternativas, de modo a revelar o impacto e a relevância das várias formas de incerteza em suas conclusões e abordagem para a avaliação de riscos. De fato, muitos estudiosos argumentam que o foco da tomada de decisões tem de se deslocar do foco primário, na avaliação científica dos riscos, para um crescente interesse na negociação e gestão das formas mais qualitativas de incerteza envolvidas (consulte, por exemplo, FUNTOWICZ; RAVETZ, 1990; STIRLING 1999a; WYNNE, 1992).

A fim de se lidar com a incerteza na ciência orientada para a formulação de políticas, são benéficos, sem dúvida, o reconhecimento, a identificação e a negociação das várias formas, sempre que possível. A identificação e franqueza sobre a incerteza na ciência, usadas para orientar a tomada de decisões, podem melhorar as políticas e ajudar a identificar as prioridades de pesquisas futuras. Nesta seção, faremos uma breve descrição de dois referenciais diferentes disponíveis para reconhecer e negociar a incerteza – o

quadro referencial de incerteza de Walker & Harremoës (WALKER *et al.*, 2003) e o conceito de avaliação de genealogia inspirado por Funtowicz & Ravetz (1990).

### 5.1. O quadro referencial de incerteza de Walker e Harremoës (W&H)

O quadro de incerteza de Walker e Harremoës (W&H) é um referencial para conceituar o tratamento sistemático da incerteza no modelo de apoio à decisão. O quadro pretende dar aos cientistas a oportunidade de expressão e reflexão sobre diferentes formas de incerteza associadas às respectivas áreas de interesse (WALKER *et al.*, 2003). Em vez de incerteza, Walker *et al.* (2003) preferem usar 'incerteza' como um termo coletivo, definindo incerteza como "qualquer desvio do ideal inatingível do completo determinismo" (WALKER *et al.*, 2003, p. 8) e descrevendo-a como um conceito tridimensional consistindo em *localização*, *nível* e *natureza* da incerteza.

1. A *localização* significa onde a incerteza se manifesta dentro de um dado sistema ou modelo. Isto diz respeito à forma como o contexto do estudo é definido; por exemplo, quais parâmetros devem ser incluídos, quais devem ser deixados de fora, e quais permitem interpretações alternativas.
2. O *nível* caracteriza a gravidade da incerteza identificada, ou a extensão da falta de conhecimento considerada. O nível é geralmente entendido como uma mudança gradual do saber ao certo para o nem mesmo saber o que não se sabe.
3. A *natureza* da incerteza pode ser tanto epistemológica ou ontológica. A incerteza epistemológica se refere à falta de conhecimento ou de metodologias adequadas para a investigação apropriada de um problema científico (isto é, incerteza redutível). A incerteza ontológica descreve a incerteza resultante da variabilidade e complexidade que são inerentes ao problema ou sistema sendo pesquisado (isto é, a incerteza irredutível).

Krayer von Krauss *et al.* (2004, 2008) foram os primeiros a testar o quadro referencial de Walker e Harremoës, utilizando-o para identificar o julgamento da incerteza dos cientistas quanto às culturas geneticamente modificadas. Gillund *et al.* (2008a, 2008b) usaram o quadro referencial para investigar possíveis consequências e incertezas associadas ao uso de vacinas de DNA<sup>6</sup> para peixes de viveiro. Com o uso do quadro referencial, um grupo de cientistas foi convidado a identificar as incertezas em um modelo que representa o sistema que estão investigando. Por exemplo, Gillund *et al.* (2008a; 2008b) apresentaram a doze cientistas envolvidos na pesquisa de vacinas para peixes de viveiro um modelo que retratava três fases da vacinação de DNA: i) resposta imunológica do peixe; ii) distribuição e expressão dos tecidos da vacina de DNA injetada; iii) liberação da vacina de DNA no meio ambiente. Em entrevistas individuais, foi solicitado aos cientistas que comentassem sobre o modelo específico e identificassem as incertezas de acordo com as dimensões indicadas no quadro referencial de Walker e Harremoës. Ao identificar a dimensão 'localização', os cientistas receberam a instrução de identificar os parâmetros do modelo que poderiam ser descritos de várias maneiras plausíveis. Esta dimensão compartilha algumas das características da "ambiguidade" conforme descrito acima, reconhecendo-se que diferentes referenciais científicos permitem várias maneiras plausíveis de descrever um sistema. Após a identificação dos 'locais', os cientistas deveriam indicar a gravidade da incerteza em cada um dos locais identificados, usando uma escala que varia de uma situação descrita como determinística (conhecimento completo) através do risco, da incerteza e da ignorância (onde nem mesmo sabemos o que não sabemos). Isto constitui a dimensão "nível" no quadro referencial de incerteza e corresponde à caracterização de incerteza, risco e ignorância feita no início deste artigo. Por fim, solicitou-se aos cientistas que descrevessem a "natureza" da incerteza para cada

6 A vacinação de DNA é definida como a transferência intencional de material genético para células somáticas com o propósito de influenciar o sistema imunológico (FOSS, 2003).

um dos ‘locais’; ou seja, se acreditavam ou não que a incerteza poderia ser redutível através de mais ciência.

Walker *et al.* (2003) sugerem que os dados levantados devem alimentar uma matriz de incerteza, que pode servir como um mapa da incerteza envolvida, indicando o “nível” e a “natureza” de cada um dos “locais” identificados como incertos. Com este tipo de apresentação dos dados, os formuladores de políticas poderiam obter uma visão geral da incerteza envolvida ao decidir sobre as estratégias de gestão para um determinado sistema ou tecnologia. No entanto, nenhum dos estudos que aplicaram o quadro referencial de W & H. julgou oportuno apresentar os dados nessa matriz. Ainda assim, Kraye von Krauss *et al.* (2004, 2008) consideraram o quadro útil para identificar diferentes tipos de incerteza, bem como ilustrar a variedade dos julgamentos, dependendo da experiência anterior dos cientistas participantes. Para Gillund *et al.* (2008b), o quadro também pode funcionar como uma ferramenta de reflexão para os cientistas, estimulando-os a refletirem e expressarem a incerteza relevante para o próprio trabalho e, se possível, ajustarem suas práticas futuras adequadamente.

## 5.2 Avaliação de genealogia

O conceito de desenvolvimento de genealogias do conhecimento científico para a formulação de políticas foi originalmente proposto por Funtowicz & Ravetz (1990), cuja ideia se refere à captura da “história por trás de um número”. A ferramenta de avaliação de genealogia é baseada na convicção de que as diferentes formas qualitativas de incerteza se manifestam através de escolhas e pressupostos imbuídos de valores, envolvidos no desenvolvimento do conhecimento. As genealogias visam gerar um relato avaliativo amplamente negociado dos aspectos cruciais que basearam as escolhas e pressupostos para a geração de conhecimento (geralmente sob a forma de determinados estudos, avaliações ou artigos científicos que são usados para orientar a formulação de políticas).

Neste sentido, as genealogias têm como objetivo gerar “um relato avaliativo do processo de produção de informações” (VAN DER SLUIJS *et al.*, 2005, p. 482), com o pressuposto de que a identificação e a negociação transparentes e reflexivas das várias escolhas e pressupostos envolvidos irão “melhorar a qualidade e robustez do aporte de conhecimento na elaboração de políticas” (CRAYE *et al.*, 2005, p. 216). Foram realizadas avaliação de genealogia em relação a casos tão diversos quanto a produção de energia nuclear (CRAYE *et al.*, no prelo), os efeitos para a saúde da incineração de resíduos (CRAYE *et al.*, 2005), impactos não-alvo das culturas geneticamente modificadas (WICKSON, no prelo), e um modelo específico de energia utilizado pela Agência Holandesa de Avaliação Ambiental (VAN DER SLUIJS, 2005).

Em primeira instância, as genealogias do conhecimento se ocupam da identificação dos “aspectos cruciais” na produção do conhecimento científico, onde a incerteza é capaz de se manifestar através da disponibilidade de diferentes escolhas e pressupostos. Estes aspectos cruciais podem incluir questões como a definição do problema científico, o método de pesquisa selecionado, a escolha dos indicadores e pontos finais de avaliação a serem utilizados, os instrumentos estatísticos que serão aplicados, o tipo de revisão da literatura empregado no estudo, a interpretação e a forma de comunicação dos resultados. Assim, de forma ideal, são desenvolvidos conjuntos de perguntas críticas para cada aspecto crucial a fim de estimular a reflexão e a avaliação. Após o desenvolvimento das perguntas críticas, é negociada uma escala qualitativa para auxiliar a avaliação do aspecto relativo à pergunta crítica. Por exemplo, se o aspecto crucial é a escolha de indicadores (o que será medido para a determinação de um efeito), uma pergunta crítica pode ser “O indicador selecionado tem abrangência suficiente para o efeito que se deseja conhecer?” Por exemplo, se você quiser saber se houve um efeito negativo sobre a saúde de um organismo, poderá escolher dentre diversos indicadores, tais como as mortes observadas, o número de tumores, as contagens de células brancas do sangue, a força das unhas, etc. A escala

qualitativa para o aspecto dos indicadores poderia, então, progredir da medida exata, boa adequação e forte correlação, para a fraca correlação, onde a força das unhas pode ser vista como tendo fraca correlação, e as mortes, sendo uma medida exata. A genealogia é a matriz resultante (apresentável sob uma variedade de formas) da avaliação do conhecimento, com base na classificação qualitativa dos vários aspectos cruciais. Permanece em aberto a questão de como prosseguem os aspectos cruciais, as questões críticas, as escalas qualitativas, e o processo de avaliação que produzem a genealogia. Entretanto, a ênfase geralmente recai sobre os elementos que estão em desenvolvimento, através de reuniões de negociação envolvendo diversos intervenientes e, em particular, aqueles com diferentes perspectivas, valores e interesses.

O desenvolvimento de uma genealogia do conhecimento normalmente envolve vários níveis de discordância e debate, e em muitos aspectos, isso faz parte de sua utilidade; através da contestação, o processo permite que venha à tona a importância das escolhas e pressupostos imbuídos de valores na ciência orientada à formulação de políticas, permitindo também que se avalie e discuta se são significativos a partir de várias perspectivas. Deve-se notar, no entanto, que este tipo de processo de avaliação sempre envolverá os confrontos entre os fatos técnicos e as questões sociais que podem ser incomensuráveis (GIAMPIETRO *et al.*, 2006). Por exemplo, para as novas tecnologias, a inevitável incomensurabilidade de valores muitas vezes existe entre os custos potenciais (por exemplo, possíveis efeitos negativos a longo prazo para a saúde e/ou degradação ambiental), e benefícios previstos (crescimento econômico por exemplo, e/ou transporte, medicina e sistemas de comunicação mais eficientes). Em vez de fornecer uma base objetiva para a tomada de decisões em situações de incomensurabilidade, o que técnicas como a avaliação de genealogia fazem é aumentar a transparência sobre o papel das várias formas de incerteza na ciência orientada à formulação de políticas.

Nós sugerimos que o desafio que a incerteza representa para a ideia do conhecimento científico objetivo “falar a verdade ao poder” é o de que os argumentos podem ser criados para

deslocar a tomada de decisões de um único foco na análise de risco rumo a um envolvimento mais direto com a tarefa de negociar a incerteza. Embora os dois referenciais descritos aqui sejam úteis para a geração de uma maior transparência sobre a incerteza envolvida em estudos científicos específicos, uma mudança ainda maior poderá ser observada nas chamadas abordagens de precaução para a tomada de decisões.

## 6 Alternativas de precaução?

### 6.1 O princípio da precaução

A formulação clássica do princípio da precaução está expressa no Princípio 15 da Declaração do Rio sobre Ambiente e Desenvolvimento (DECLARAÇÃO DO RIO DE JANEIRO SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992): “Quando houver perigo de dano grave ou irreversível, a falta de certeza científica absoluta não deve ser utilizada como razão para que seja adiada a adoção de medidas eficazes em função dos custos para impedir a degradação ambiental”. Embora exista uma grande variedade de formulações alternativas, com diferentes status legais (FOSTER *et al.*, 2000), existem quatro componentes centrais associados a este princípio: (i) tomada de medidas de precaução em face da incerteza; (ii) inversão do ônus da prova para os proponentes de uma atividade; (iii) exploração de uma grande variedade de alternativas para possíveis ações prejudiciais; (iv) aumento da participação do público na tomada de decisões (KRIEBEL *et al.*, 2001). O princípio da precaução representa um claro reconhecimento da existência da incerteza e sugere que é importante para que os decisores considerem, ativamente, as limitações do conhecimento científico na tomada de decisões.

Entretanto, é discutível até que ponto o princípio permite um envolvimento com a gama completa de incerteza. Wynne (1992) sugere que algumas das interpretações existentes do princípio da

precaução, embora reconheçam a importância da incerteza para a tomada de decisões, não necessariamente ditam um compromisso com a indeterminação, a ambiguidade e a ignorância. Isto é porque a compreensão acerca de ‘uma falta de certeza científica’ é muitas vezes aquela em que o único tipo de incerteza envolvido é conceptualmente redutível através de futuras pesquisas.

Outra crítica de Levidow (2001) à abordagem do princípio em relação à incerteza é que, como raramente, ou talvez nunca, costuma-se alegar certeza científica absoluta em julgamentos de segurança (isto é, nada é considerado seguro com 100% de certeza), o grau de incerteza envolvido pode ser visto como ambíguo. Além disso, Levidow (2001) questiona a utilidade do critério “custo-benefício” porque este sugere, necessariamente, que há conhecimento suficiente para prever o grau de danos em potencial e, portanto, permitir uma avaliação de qual poderia ser uma medida de precaução economicamente viável. Stirling (2002) também faz críticas similares à versão convencional do princípio, sugerindo que a ideia de que aquilo que conta como uma ameaça, os critérios para julgar a seriedade ou a irreversibilidade, a forma de medição do grau de incerteza, e o critério para julgar o que é economicamente viável, são questões para as quais não existe uma única resposta objetiva ou racional.

Além disso, o princípio da precaução pode representar um desejo de transferir o ônus da prova, mas também é problemática a questão do quanto os decisores precisam se deslocar ao longo do eixo “culpados até que se prove o contrário”. Os opositores mais ferrenhos do princípio da precaução têm receio de que ele reduza os incentivos para o desenvolvimento tecnológico e o crescimento econômico (MORRIS, 2002). Por exemplo, a adoção do princípio como um guia de políticas significa que os decisores terão de evitar o uso de nanopartículas no menor sinal de perigo? Na prática, a aplicação da noção de precaução como um princípio dogmático ou regra é problemática na melhor das hipóteses, e paralisante na pior.

Todos os problemas acima descritos sugerem que, embora o princípio da precaução possa ser visto como representativo de

sentimentos admiráveis, permanecem questões importantes sobre como ele poderia ser aplicado de maneira prática na tomada de decisões políticas. Na verdade, o peso combinado das críticas está conduzindo uma mudança teórica emergente, afastando-a das discussões sobre como é possível aplicar um “princípio da precaução” específico, rumo à descrição do que pode acarretar uma “abordagem de precaução” à tomada de decisão. Neste sentido, a noção de precaução deixa de ser uma regra de decisão estereotipada para representar uma abordagem específica para o uso da ciência na tomada de decisões sob condições de incerteza.

## 6.2 Abordagens de precaução no processo de tomada de decisões

As abordagens de precaução se destinam a reconhecer e lidar com o problema da incerteza na tomada de decisões (FOSTER *et al.*, 2000; SANDIN, 2004). De acordo com Stirling & Gee (2002), as abordagens de precaução implicam (i) a humildade e o reconhecimento dos limites do conhecimento disponível; (ii) a pesquisa e o monitoramento que vão além de modelos teóricos e testes laboratoriais, incluindo um conjunto mais completo de mecanismos causais indiretos para danos; (iii) a participação de uma ampla gama de partes interessadas e afetadas e (iv) a ponderação de ambos os prós e contras de uma série de opções alternativas, bem como as características mais gerais dos compromissos tecnológicos. Esta abordagem reflexiva pode ser realizada através da exposição de alegações específicas do conhecimento científico ao escrutínio não apenas de várias outras disciplinas científicas, mas também das partes interessadas e do público em geral (STIRLING, 2002) ou seja, ao tipo de “avaliação crítica dos pares” descrita por Fun-towicz & Ravetz (1990, 1993, 1994) ou à abordagem da “ciência negociada”, apresentada por Carr & Levidow (1999). Isto significa que uma abordagem de precaução importante amplia a noção de perícia (*expertise*) e amplia a base de evidências a fim de incluir a opinião pública (ORESZCZYN, 2005).

Em resumo, os elementos importantes do que representa uma abordagem de precaução para a tomada de decisões são os seguintes:

1. O uso da pesquisa científica que é bastante amplo, interdisciplinar, capaz de considerar mecanismos causais indiretos, e contribui para uma abordagem do ciclo de vida para a análise;
2. O reconhecimento das limitações do conhecimento científico e a vontade de expor o conhecimento à reflexão crítica e à “avaliação crítica dos pares”, especialmente de modo a criar transparência sobre as escolhas e pressupostos incorporados;
3. O compromisso de reduzir incertezas e minimizar surpresas geradas pela ignorância através da vigilância e também de pesquisas e do monitoramento constantes;
4. Um tratamento transparente da ambiguidade e da indeterminação, através de abordagens interdisciplinares e da ampla participação do público. Este tratamento inclui a consideração e implantação de uma série de alternativas sociotécnicas e opções de políticas.

Como as abordagens de precaução se referem mais ao processo do que ao resultado, as metodologias que visam facilitá-las deverão ser continuamente desenvolvidas, modificadas e avaliadas em função do contexto específico ou motivo de preocupação, e certamente serão necessários debates mais amplos a respeito das implicações práticas dessas abordagens.

### **6.3 Abordagens de precaução para a governança de nanopartículas?**

O que acarretaria uma abordagem de precaução para a governança de nanopartículas? A seguir, delinearemos algumas das

características importantes que observamos em correlação com os aspectos resumidos acima.

1. Uma abordagem de precaução para a governança de nanopartículas poderia enfatizar a ciência que analisa os potenciais efeitos negativos para a saúde humana e ambiental em uma perspectiva bastante ampla e interdisciplinar. Isso significa, em primeiro lugar, o financiamento bastante reforçado da pesquisa básica para a caracterização de diferentes nanopartículas, métodos para detectar e medir sua persistência e distribuição em seres humanos, animais e meio ambiente, bem como seu potencial toxicológico. É interessante notar que, embora tenha havido uma ênfase consistente na necessidade de mais pesquisas fundamentais e (eco)toxicológicas, o sólido apoio financeiro dos formuladores de políticas permanece deficiente (EDITOR, 2008); o orçamento para esse tipo de pesquisa é raramente superior a 3% do montante total disponível para a nanociência e tecnologia (PROJETO DE TECNOLOGIAS EMERGENTES, 2008; COMISSÃO REAL SOBRE POLUIÇÃO AMBIENTAL, 2008).

De acordo com uma abordagem de precaução, os impactos toxicológicos, no entanto, não seriam apenas conceituados estritamente como impactos diretos. Seria enfatizado o conhecimento de questões como o movimento de nanopartículas em solo, água, ar, bem como o movimento dentro e entre os organismos biológicos e teias alimentares, considerando-se uma série de rotas de exposição potenciais. O papel potencial das nanopartículas como portadores de compostos tóxicos também seria um importante campo de pesquisa, assim como o potencial de efeitos sinérgicos com outras partículas e substâncias químicas. O desenvolvimento de padrões e métodos estabelecidos para testes seria considerado um processo particularmente importante para investimento. As abordagens de pesquisa atuais precisariam ser complementadas com modernas ferramentas analíticas que estudassem sistemas inteiros em várias condições. Embora o número, o escopo e o tempo necessários para pesquisas sob essa noção de uma abordagem de

precaução possam parecer estressantes, é nossa opinião que, sem essas pesquisas, é infundada qualquer pretensão de um processo de avaliação de riscos abrangente.

2. Sob uma abordagem de precaução, o conhecimento científico que desempenha um papel na tomada de decisões políticas seria idealmente exposto a alguma forma de avaliação crítica dos pares, envolvendo uma ampla gama de partes interessadas para revelar a influência e negociar a importância das várias formas de incerteza. Isso poderia continuar com a utilização de referenciais teóricos como o quadro referencial de incerteza de Walker e Harremoës, a abordagem de avaliação de genealogia, ou outros meios para a estruturação da reflexão crítica e da ampla discussão. Este processo destacaria as fraquezas, limitações e ambiguidades na ciência envolvida, e auxiliaria o início do processo de discussão e negociação do peso diferencial e a importância que devem ter essas abordagens.
3. As pesquisas e o monitoramento constantes receberiam destaque e financiamento, em especial para produtos que foram aprovados para a produção comercial. É fundamental que os métodos de detecção e monitoramento sejam iniciados com a finalidade de acompanhar e mapear os efeitos reais ao meio ambiente e à saúde, além de identificar os efeitos imprevistos. Embora isso obviamente envolva o trabalho dos cientistas, também é importante que haja uma noção de controle coletivo através da cultura e do apoio de um público perspicaz. Isso é importante porque, no passado, muitas vezes foi o público que alertou as autoridades para os impactos negativos e riscos potenciais de novas tecnologias. Para o monitoramento público coletivo de nanopartículas, no entanto, as pessoas precisam ser informadas a respeito dos locais e dos produtos nos quais essas partículas estavam sendo usadas algo que não ocorre atualmente.
4. Finalmente, continuaria a ocorrer a ampla participação do público em geral em torno do uso de nanopartículas em diversas tecnologias e aplicações comerciais. No entanto, é

importante que esta participação do público não fique restrita a determinados eventos “para convidados”, nem limitada à discussão sobre os riscos potenciais associados ao uso de nanopartículas. A discussão e o debate devem ser incentivados e adotados em torno das várias alternativas disponíveis para esses usos, a trajetória global da tecnologia em questão, as expectativas sociais e valores que essa trajetória representa, e que tipo de futuro se deseja, em última instância. Desta forma, é importante que o foco das discussões se desloque da administração do risco para a administração de processos de inovação de forma mais ampla (FELT; WYNNE, 2007).

## 7. Conclusão

Neste artigo, descrevemos diversos tipos de incerteza qualitativa e argumentamos que a presença dessas formas de incerteza significa que valores, crenças e interesses estão, inevitavelmente, emaranhados na ciência envolvida na tomada de decisões. Defendemos a ideia de que é preciso reconhecer as formas qualitativas de incerteza que afetam qualquer avaliação de risco de nanopartículas, e desenvolver boas estratégias para geri-las. Isto envolve a mudança do foco individual nos processos de avaliação de risco para abordagens de precaução, onde um passo importante é a identificação e caracterização da incerteza relevante que aparece na pesquisa sobre nanopartículas e na ciência que está sendo empregada na elaboração de políticas.

Além disso, já que ressaltamos que os valores e interesses influenciam as escolhas feitas por cientistas, quando a ciência é usada para orientar as decisões sobre políticas, essas escolhas devem ser feitas da forma mais transparente possível e negociadas em termos de apoio público e político. A incerteza e a complexidade desafiam a noção tradicional da ciência e seu papel privilegiado na tomada de decisões; por isso, devemos reconhecer o papel que o amplo debate público deve desempenhar na inovação tecnológica e

**Tratando as nanopartículas com precaução: reconhecendo a incerteza...**

Fern Wickson • Froydis Gillund • Anne Ingeborg Myhr

na tomada de decisões. Uma abordagem de precaução para a governança de nanopartículas pode levar a uma desaceleração na comercialização de determinados fluxos de inovação, mas em contrapartida, pode tornar novas tecnologias socialmente mais robustas e ecologicamente saudáveis a longo prazo. De acordo com nossos pressupostos e valores, esta é uma boa meta a ser alcançada.

Tradução revisada para publicação em 02/04/2012.

**Bibliografia**

ASLAKSEN, I. and Myhr, A. I. (2006). The worth of a wildflower: Precautionary perspectives on the environmental risk of GMOs, *Ecol. Econ.*, 60, pp. 489-497.

BAUMGÄRTER, S., Becker, C., Frank, K., Müller, B. and Quaas, M. (2008). Relating the philosophy and practices of ecological economics: The role of concepts, and case studies in inter-and transdisciplinary sustainability research, *Ecol Econ*, 67, pp. 284-393.

BECK, U. (1992). **Risk society**: towards a new modernity, London: Sage.

BERKES, F. (2007). Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking, *Nat. Hazards*, 41, pp. 283-295.

CARR, S. and Levidow, L. (1999). Negotiated Science - The case of agricultural biotechnology regulation in Europe. In Collier, U., Orhan, G. and Wissenburg, M. (eds) **European Discourses on Environmental Policy**, Aldershot: Ashgate Publishers, pp. 159-72.

CILLIERS, P. (2005). Complexity, Deconstruction and Relativism, *Theor. Cult. Soc.*, 22, pp. 255-267.

COVELLO, V. T.; Merkhofer, M. W. (1993). **Risk assessment methods**; Approaches for assessing health and environmental risks, New York: Plenum Press.

CRAYE, M., Funtowicz, S. and Van Der Sluijs, J. P. (2005). A reflexive approach to dealing with uncertainties in environmental health risk science and policy, *Int. j. risk assessment manage*, 5, pp. 216-236.

CRAYE, M., Laes, E. and van der Sluijs, J. (in press) Re-negotiating the role of external cost calculations in the Belgian nuclear and sustainable energy debate. In Pereira, A., and Funtowicz, S. (eds) *Science for Policy*, Oxford: Oxford University Press.

EC SANCO (2004). **Nanotechnologies**: a preliminary risk analysis on the basis of a Workshop Organized in Brussels on 1-2 March 2004 by the Health and Consumer Protection Directorate General of the European Commission, European Commission Community Health and Consumer Protection.

EDITOR (2008). The same old story, *Nature Nanotechnology*, 3, pp. 697.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (2008). Draft Opinion of the Scientific Committee on the Potential Risks Arising from Nanoscience and Nanotechnologies of Food and Feed Safety. <[http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa\\_locale1178620753812\\_ScientificOpinionPublicationReport.htm](http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale1178620753812_ScientificOpinionPublicationReport.htm)(lastaccessed 15.11.2008)>.

FABER, M., Manstetten, R. and Proops J. L. R. (1992). Humankind and the environment: an anatomy of surprise and ignorance, *Environ. Value*, 1, pp. 217-242.

FELT, U. and Wynne, B. (2007). **Taking European Knowledge Society Seriously**. Report on the Expert Group on Science and Governance to the Science, Economy and Society Directorate, Directorate – General for Research, European Commission.

FOSS, G. S. (2003). **Regulation of DNA vaccines and gene therapy on animals**, The Norwegian Biotechnology Advisory Board. <[http://www.bion.no/publikasjoner/regulation\\_of\\_DNA\\_vaccines.pdf](http://www.bion.no/publikasjoner/regulation_of_DNA_vaccines.pdf)>. Last accessed: 06.03.09.

FOSTER, K. R., Vecchia, P. and Repacholi, M. H. (2000). Science and the precautionary principle, *Science*, 288, pp. 979-981.

FUNTOWICZ, S. O. and Ravetz, J. R. (1990). **Uncertainty and Quality in Science for Policy**, Dordrecht: Kluwer.

FUNTOWICZ, S. O. and Ravetz, J. R. (1993). Science for the post normal age, *Futures*, 25, pp. 739-755.

FUNTOWICZ, S. O. and Ravetz, J. R. (1994). The worth of a songbird: Ecological economics as a Post-normal science, *Ecol. Econ.*, 10, pp. 197-207.

GIAMPETRO, M., Mayumi, K. and Munda, G. (2006). Integrated assessment and energy analysis: Quality assurance in multi- criteria analysis of sustainability, *Energy*, 31, pp. 59-68.

GILLUND, F., Dalmo, R., Tonheim, T. C., Seternes, T. and Myhr A. I. (2008a). DNA vaccination in aquaculture – Expert judgements of impacts on environment and fish health, *Aquaculture*, 284, pp. 25-34.

GILLUND, F., Kjølborg, K. A., Kraymer von Krauss, M., Myhr, A. I (2008b). Do uncertainty analyses reveal uncertainties? Using the introduction of DNA vaccines to aquaculture as a case, *Sci. Total Environ.* 407, pp. 185-196.

KATES, R. W., Clark, W. C., Corell, R., Hall, J.M., Jaeger. C. C., Lowe, I., McCarthy, J. J., Schellnhuber, H. J., Bolin, B., Dickson, N. M., Faucheux, S., Gallopin, G. C., Grübler, A., Huntley, B., Jäger, J., Jodha, N. S., Kaspersen, R. E., Mabogunje, A., Matson, P., Mooney, H., Moore III, B., O’Riordan, T., Svedin, U. (2001). Sustainability Science, *Science*, 292, pp. 641-642.

KITANO, H. (2002). System biology: A Brief Overview, *Science*, 295, pp. 1662-1664.

KRAYER von Krauss; M. P., Casman; E. A. and Small, M. J. (2004). Elicitation of Experts Judgements of Uncertainty in the Risk

Assessment of Herbicide-Tolerant Oilseed Crops, *Risk Anal*, 24, pp. 1515–1527.

KRAYER von Krauss, M. P., Kaiser M., Almaas V., van der Sluijs, J. and Klopogge P. (2008). Diagnosing and prioritizing uncertainties according to their relevance for policy: The case of transgene silencing, *Sci. Total Environ*, 390, pp. 23-34.

KRIEBEL, D., Tickner, J., Epstein, P., Lemons, J., Levins, R., Loechler, E.L., Quinn, M., Rudel, R., Schettler, T. and Stoto, M. (2001). The precautionary principle in environmental science, *Environ. Health Persp.*, 109, pp. 871-876.

KVAKKESTAD, V. Gillund, F., Kjølberg, K. A. and Vatn, A. (2007). Scientists' perspectives on the Deliberate Release of GM Crops, *Environ. Values*, 16, pp. 79-104.

LAM, C. W., James, J. T., McCluskey, R. and Hunter, R. L. (2004). Pulmonary Toxicity of Single-Wall Carbon Nanotubes in Mice 7 and 90 Days After Intratracheal Instillation, *Toxicol. Sci.*, 77, pp. 126-134.

LEVIDOW, L. (2001). Precautionary Uncertainty: Regulating GM Crops in Europe, *Soc. Stud. Sci.*, 31, pp. 842-74.

MAYO, D. G. and Hollander, R. D. (1991). **Acceptable evidence: Science and values in risk management**, Oxford: Oxford University Press.

MORRIS, J. (2002). The relationships between risk analysis and the precautionary principle, *Toxicology*, 181-182, pp. 127-130.

MYHR, A. I. and Dalmo, R. A. (2007). Nanotechnology and risk: what are the issues? In Allhoff, F., Lin, P., Moor, J., Weckert, J. (eds) **Nanoethics, examining the societal impact of nanotechnology**, ISBN: 978-0-470-08417-5 John Wiley & Sons Inc.

NANOFORUM (2004). **Benefits, risks, ethical, legal and social aspects of nanotechnology**. European nanotechnology Gateway. Available at [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org) (Accessed 2005 Sept 5).

OBERDÖRSTER, G., SHARP, Z., Atudorei, V., Elder, A., Gelein, R., Kreyling, W. and Cox C. (2004). Translocation of Inhaled Ultrafine Particles to the Brain, *Inhal. Toxicol.*, 16, pp. 437-446.

OBERDÖRSTER, E. (2004). Manufactured Nanomaterials (fullerenes, C<sub>60</sub>) Induce Oxidative Stress in Juvenile Largemouth Bass, *Environ. Health Persp.*, 112, pp. 1058-1062.

ORESZCZYN, S. (2005). GM crops in the United Kingdom: precaution as process, *Sci. Public Policy*, 32, pp. 317-324.

PELLIZZONI, L. (2004). Responsibility in environmental governance, *Environ. politics*, 13, pp. 541-565.

PETERSON, M. (2007). The precautionary principle should not be used as a basis for decision making, *EMBO J.*, 8, pp. 305-308.

PRIGOGINE, I. (1980). **From being to becoming: time and complexity in the physical sciences**, San Fransisco: W.H. Freeman.

PROJECT on Emerging Technologies (2008). **Europe Spends Nearly Twice as Much as U.S. on Nanotech Risk Research**. <http://www.nanotechproject.org/news/archive/ehs-update/> (last accessed 18.12.2008).

RENN, O. (1998). Three decades of risk research: accomplishments and new challenges, *J. Risk Res.*, 1, pp. 44-71.

Rio Declaration on Environment and Development (1992). Un.Doc/CpNF.151/5/Rev. 1.

Royal Commission on Environmental Pollution (2008). **Novel Materials in the Environment: The case of nanotechnology. Twenty-seventh report**. The Stationary Office, Norwich. <http://www.rcep.org.uk/novelmaterials.htm> (last accessed 18.12.2008).

Royal Society and Royal Academy of Engineering (2004). **Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties**, London: Royal Academy of Engineering, 29 July 2004. <<http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>>.

SANDIN, P. (2004). The precautionary principle and the concept of precaution, *Environ. Value*, 13, pp. 461-475.

SAREWITZ, D. (2004). How science makes environmental controversies worse, *Environ. Sci. Policy*, 7, pp. 385-403.

STIRLING, A. (1999a). **On science and precaution on risk management of technological risk**, An Esto project prepared for the European Commission-JRC Institute for prospective Technological Studies, Seville.

STIRLING, A. (1999b). Risk at a Turning Point? *J. Environ. Med.*, 1, pp. 119-126.

STIRLING, A. (2002) Risk, uncertainty and precaution: some instrumental implications from the social sciences. In Berkhout, F., Leach, M. and Scoones, I. (eds) **Negotiating Environmental Change**, Cheltenham, UK: Edward Elgar, pp. 33-76.

STIRLING, A. (2006). Uncertainty, precaution and sustainability: towards a more reflective governance of technology. In Voss, J.P., Mauknecht, D. and Kemp, T. (eds) **Reflexive governance for sustainable Development**, Cheltenham, UK: Edward Elgar, pp 225-272.

STIRLING, A. (2007). Risk, precaution and science: towards a more constructive policy debate, *EMBO J.*, 8, pp. 309- 312.

STIRLING, A. and Gee, D. (2002). Science precaution and practice, *Public health rep.*, 117, pp. 521-533.

VAN DER SLUIJS, J., Craye, M., Funtowicz, S., Klopogge, P., Ravetz, J. and Risbey, J. (2005) Combining Quantitative and Qualitative Measures of Uncertainty in Model-Based Environmental Assessment: The NUSAP System, *Risk Anal*, 25, pp. 481-492.

WALKER, W. E., Harremoës, P., Rotmans, J., van der Sluijjs, J. P., van Asselt, M. B. A., Janssen, P. and Kraye von Krauss, M. P. (2003). Defining uncertainty; a conceptual basis for uncertainty management in model based decision support, *Integr. Assessment*, 4, pp. 5–17.

WARHEIT, D. B., Laurence, B. R., Reed, K. L., Roach, D. H., Reynolds, G. A. M. and Webb, T. R. (2004). Comparative Pulmonary Toxicity

**Tratando as nanopartículas com precaução: reconhecendo a incerteza...**

Fern Wickson • Froydis Gillund • Anne Ingeborg Myhr

Assessment of Single-wall Carbon Nanotubes in Rats, *Toxicol Sci.* , 77, pp. 117-125.

WICKSON, F. (in press). Reliability Rating and Reflective Questioning: A case study of extended review on Australia's risk assessment of Bt Cotton, *J. Risk Res.*

WICKSON, F., Grieger, K. D. and Baun, A. (forthcoming) Nature and Nanotechnology: Science, Ideology and Policy. In Torres, R. and Gould, K. (eds) **Nanotechnology, Social Change and the Environment**, Lanham: Rowman & Littlefield.

WINNER, L. (1986). **The Whale and the Reactor**: A search for limits in an age of high technology, Chicago, London: University of Chicago Press.

WYNNE B. (1992). Uncertainty and environmental learning: Reconceiving science and policy in the preventive paradigm, *Global Environ. Change*, 2, pp. 111-127.