

## **Incerteza, Risco e Futuro Aberto: educação científica e Mundo Contemporâneo**

**Maurício Pietrocola**

[mpietro@usp.br](mailto:mpietro@usp.br)

Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil.

### **Resumo**

Este artigo de reflexão discute como a ideia moderna de “progresso”, entendida como melhoria das condições materiais médias de vida, entra em tensão com a produção contemporânea de riscos e com a expansão da incerteza. A partir do quadro da “sociedade do risco” (Beck) e dos “riscos fabricados” e da confiança em sistemas especializados (Giddens), argumenta-se que muitas ameaças atuais são difíceis de perceber objetivamente devido à sua invisibilidade, rapidez e caráter emergente. Defendem-se implicações para a educação científica: formar cidadãos capazes de avaliar riscos, deliberar em cenários de incerteza e compreender os limites e o alcance do conhecimento especializado nas decisões públicas.

**Palavras-chave:** educação científica; sociedade do risco; riscos fabricados; incerteza; confiança na ciência; futuro aberto.

## **Incertidumbre, riesgo y futuro abierto: educación científica y mundo contemporáneo**

### **Resumen**

Este artículo de reflexión discute cómo la idea moderna de “progreso”, entendida como mejora de las condiciones materiales promedio de vida, entra en tensión con la producción contemporánea de riesgos y con la expansión de la incertidumbre. A partir del marco de la “sociedad del riesgo” (Beck) y de los “riesgos manufacturados” y la confianza en sistemas expertos (Giddens), se argumenta que muchas amenazas actuales son difíciles de percibir objetivamente por su invisibilidad, su rapidez y su carácter emergente. Se sostienen implicaciones para la educación científica: formar ciudadanía capaz de evaluar riesgos, deliberar en escenarios de incertidumbre y comprender los límites y alcances del conocimiento experto en decisiones públicas.

**Palabras clave:** educación científica; sociedad del riesgo; riesgos manufacturados; incertidumbre; confianza en la ciencia; futuro abierto.

## **Uncertainty, Risk, and an Open Future: Science Education and the Contemporary World**

### **Abstract**

This theoretical paper discusses how the modern idea of “progress”, often assessed as improved average material living conditions, is increasingly entangled with contemporary risk production and manufactured uncertainty. Drawing on risk society perspectives (Beck) and on manufactured risks and trust in expert systems (Giddens), it argues that many current threats are hard to perceive objectively due to invisibility, rapid dynamics and the continual emergence of new risks. The paper outlines implications for science education: supporting citizens’ capacity to reason about risk, deliberate under uncertainty and critically engage with expertise in public decision-making.

**Keywords:** science education; risk society; manufactured risks; uncertainty; trust in science; open future.

# Incertitude, risque et avenir ouvert : l'enseignement scientifique et le monde contemporain

## Résumé

Cet article de réflexion examine la tension entre l'idée moderne de « progrès », comprise comme amélioration des conditions matérielles moyennes, et la production contemporaine de risques et d'incertitudes. En s'appuyant sur la « société du risque » (Beck) et sur les risques manufacturés et la confiance dans les systèmes experts (Giddens), il souligne que de nombreuses menaces actuelles sont difficiles à percevoir objectivement en raison de leur invisibilité, de leur rapidité et de leur caractère émergent. Des implications pour l'éducation scientifique sont proposées.

**Mots clés:** éducation scientifique ; société du risque ; risques manufacturés ; incertitude ; confiance dans la science ; Future ouvert

## 1. INTRODUÇÃO

A emergência da crise climática nas últimas décadas tem imposto desafios que ultrapassam as fronteiras da ciência tradicional e das instituições políticas modernas. Hoje é forçoso admitir que temos a existência humana ameaçada como consequência de decisões tomadas no passado. O acúmulo de gases do efeito estufa gerados em séculos de atividade industrial, principalmente, pelos países desenvolvidos mudaram as características físicas da atmosfera e modificaram o equilíbrio energético no planeta. O mesmo pode ser dito sobre o cenário geopolítico, onde conflitos podem desencadear uma nova guerra mundial com o uso de armas nucleares, também capazes de extinguir a espécie humana.

A percepção pública da ciência e da tecnologia vem se degradando juntamente com as condições climáticas e com a incapacidade das ciências em oferecer soluções para ameaças civilizatórias, como ocorreu recentemente na pandemia de COVID-19. Apesar dos benefícios que foram obtidos por meio das ciências e da tecnologia (ao menos para as pessoas que vivem em regiões ricas e industrializadas), tais como o aumento na expectativa de vida, água potável, saneamento básico, a modernidade tardia, testemunhou-se um aumento da ansiedade pública e da frágil confiança na ciência (Gerges, 2025). Os movimentos negacionistas (Petzold & Nichols 2025) são a ponta do iceberg de um problema mais profundo, que põe em xeque o papel da racionalidade científica na estruturação da sociedade moderna.

Há um grande debate sobre as causas que geraram a polícrise vivenciada neste início de século XXI. Parece inevitável admitir a responsabilidade parcial das ciências, e em particular a racionalidade científica nas ameaças enfrentadas pela humanidade. A própria ideia de "progresso", traduzida na inegável melhoria nas condições materiais médias de vida, se reveste desta universalidade (Bernardo, Vasconcelos, & Rocha, 2025). Este progresso, no entanto, foi obtido às custas do aumento da desigualdade entre regiões e países, da concentração de renda de empresas e indivíduos, do desrespeito às culturas locais, da degradação do ambiente e da qualidade de vida de outros seres vivos (Schöngart, Nicholls, Hoffmann, et al. 2025).

Hoje é forçoso admitir que o projeto da Modernidade fracassou em oferecer uma vida melhor para os seres humanos. A Modernidade, tal como pensada pelos filósofos iluministas do século XVIII, parece hoje, mais do que nunca, distante em atingir seus objetivos. Stephen Toulmin

(1990) considera que o período Moderno se iniciou no século XVI com a eleição da racionalidade como um mediador capaz de superar a incomensurabilidade nas disputas de ordem religiosa e moral que atingiram a Europa no século anterior. A opção por uma sociedade onde as disputas seriam mediadas pela razão pavimentou o caminho da paz, mas deixou pouco espaço para as diferenças e a diversidade e impondo um modelo universalizante nas formas de ser e estar no mundo.

Vivemos no que alguns chamam de sociedade de risco (Beck, 1992), uma sociedade que ao buscar a segurança por meio da transformação do ambiente por meio da ciência e da tecnologia, passou a fabricar as ameaças que colocam sua sobrevivência em risco (Giddens, 1991). Esta sociedade é caracterizada pelas incertezas fabricadas como efeitos secundários de ações tomadas na estruturação da vida social. Nesta concepção, o uso dos combustíveis fósseis foi um recurso abundante e barato na produção de energia e permitiu a revolução industrial, mas como consequência gerou os gases que transformaram nossa atmosfera e resultaram no aquecimento global.

A vida na sociedade de risco gera ansiedade nas pessoas, pois demanda a tomada de decisão em cenários de incertezas, envolvendo fatores imponderáveis e incomensuráveis que não podem ser reduzidos a zero, nem pelas experiências prévias, nem pelo recurso aos peritos. Em tais cenários, o conhecimento científico perde grande parte de sua efetividade na orientação de políticas e decisões sociais. Isso pode ser percebido na afirmação feita pelo comitê de ciência e tecnologia da casa dos lordes no Reino Unido no relatório Ciência e Sociedade: "When science and society cross swords, it is often over the question of risk" (House of Lords, 2000).

Frente a este ambiente de desconfiança nas ciências e de alta ansiedade, valeria a pena se questionar: será por meio de mais conhecimento científico que atingiremos uma sociedade justa e distribuidora de bem estar social? Como utilizar as ciências no enfrentamento dos diversos tipos de problemas enfrentados pela sociedade? O progresso, tanto científico como material, tem tornado a vida mais segura e as pessoas mais felizes?

Neste contexto de reflexão civilizatória, cabe mais do que nunca, repensar o papel da educação científica. Como a educação científica toma parte no projeto da modernidade e como repensá-la para ajustar seus objetivos a um mundo de incertezas fabricadas?

Responder esta questão passa por entender os desafios do mundo contemporâneo e ser capaz de conceber um novo projeto de educação científica que permita vislumbrar futuros alternativos e a construção do mundo que desejaríamos viver.

## 2. A SOCIEDADE DE RISCO

O sociólogo Ulrich Beck ganhou fama e notoriedade no início da década de 1990 ao introduzir a ideia de “Sociedade de Risco para analisar a sociedade ocidental pós-industrial. Seus trabalhos buscaram conectar as transformações institucionais e os desafios com as ações da micropolítica do dia-a-dia em campos como saúde, economia e meio ambiente (Sørensen, 2018). Segundo Ianni (2012), Beck apresenta sua teoria em três obras: *Risk Society: Towards a New Modernity* (1992), *Ecological politics in a age of risk* (1995) e *World risk society* (1999). A tese avançada por ele é que a sociedade industrial, baseada no conhecimento científico e tecnológico, passou a produzir situações de ameaça. É importante destacar que a sociedade de riscos é aquela onde as catástrofes passaram a ser a normalidade e não mais as situações de exceção (Beck, 1992, p. 24). Além disso, é importante destacar que a ciência e a tecnologia estão no foco central da discussão proposta por Beck, Giddens e os demais adeptos da teoria da sociedade de risco (Mendelson, 2010, p.231).

Para Beck, o conceito de risco tem um impacto profundamente transformador na sociedade atual, e serviu como meio de melhor caracterizar a ordem social na contemporaneidade (Mendelson 2010). Seguindo esta premissa, a sociedade que emerge no período do pós-guerra passa a ser melhor caracterizada pela sua capacidade de produzir "riscos e encargos associados à tecnologia (tais como poluição, resíduos nucleares, aquecimento global e efeitos colaterais de tratamentos médicos)"(op cit., p. 296).

Uma primeira interpretação é que as sociedades industriais experimentaram mudanças importantes em decorrência dos riscos ambientais, principalmente poluição atmosférica e contaminação radioativa. O crescimento deste tipo de risco acarretou um aumento desproporcional na percepção que as pessoas têm dos mesmos, modificando suas crenças, interesses e comportamentos.

A centralidade do conhecimento científico, lato sensu, na teoria da sociedade de risco traz algumas características específicas aos riscos e gera condicionantes aos meios sociais de identificá-los. Nas sociedades pré-modernas e mesmo na alta modernidade, riscos não requeriam conhecimentos especializados para serem identificados, seja pelas suas origens na natureza (uma tempestade) ou no funcionamento social (risco de ficar desempregado). O mesmo não pode ser dito dos riscos na atualidade. A grande maioria deles permanece oculto para a maioria das pessoas (como o vírus com potencial para criar epidemias, como o COVID-19). Muitas vezes o risco só é percebido quando já está materializado em ameaças com consequências irreversíveis. Uma maneira de caracterizar a dependência científica dos riscos na modernidade tardia é considerar que ameaças são definidas e formatadas por especialistas. Por exemplo, a potabilidade da água que consumimos é garantida por testes de laboratório e assinados por um técnico responsável. Os exames de saúde seguem a mesma lógica de validação. O que significa que o risco de estar

doente depende de padrões estabelecidos por técnicos da área da saúde, e desta forma podem variar no tempo e de local para local.

Outro aspecto importante é que a ampliação da percepção do risco implica na perda de confiança no mundo. Anthony Giddens explica que a estabilidade do mundo é como algo essencial à existência humana e que se traduz pela noção de segurança ontológica (1991). O aumento da ansiedade pode ser entendida como fruto de uma crescente tomada de consciência de riscos que passaram a povoar o quadro de referência das pessoas. Ou seja, riscos indicam uma fragilização na segurança ontológica e colocam os atores sociais em estado de permanente atenção. Na sociedade de risco, a sensação de segurança é por assim dizer, perdida. O máximo que se pode esperar é lidar com o risco confiando em pessoas ou em instâncias da sociedade que nos ofereçam algum grau de controle do ele. Assim, não se deve perguntar sobre a segurança no uso de um medicamento ou de um meio de transporte, mas o grau de confiança que pode ser associado a eles. Neste sentido, na sociedade de risco substitui-se o par perigo-segurança, pelo par risco-confiança.

Os riscos na atualidade são difíceis de serem percebidos objetivamente, seja pela velocidade dos acontecimentos, pela invisibilidade das ameaças, ou pelo inevitável aparecimento de novos riscos. Esse cenário faz com que os indivíduos passem a ter suas vidas constrangidas por riscos que, muitas vezes, são invisíveis, mas reais ou, até mesmo, irreais. Mudanças climáticas, aquecimento global, queimadas das florestas, acidentes ambientais e pandemias são exemplos que promovem essas discussões, pois parte da população observa e convive com essas problemáticas, sejam elas de alcance global ou local (Giulio et al., 2015; Pietrocola, Schnorr, & Rodrigues, 2025).

Nesta discussão sobre a nova ordem social na contemporaneidade, o mérito de Beck e Giddens foi propor uma macro teoria sociológica cujo foco é a interação sociedade-natureza. Num primeiro momento, poder-se-ia indagar se na nova ordem mundial os riscos realmente aumentaram ou foi apenas a sua percepção pública que aumentou. Para Beck esta distinção não faz sentido, pois "Ambos os lados convergem, condicionam-se mutuamente, fortalecem-se mutuamente e, como os riscos como riscos no conhecimento, as percepções dos riscos e os riscos não são coisas diferentes, mas sim a mesma coisa"(op. cit., p.55). O ofuscamento das fronteiras acontecem pois, na perspectiva da sociedade de risco, o que emerge são os riscos produzidos internamente à sociedade e cuja responsabilidade recai sobre a humanidade. Isto é o que Giddens definiu como riscos manufaturados que se diferenciam dos riscos externos que acompanham a civilização humana desde seus primórdios (Giddens, 2004). Assim, riscos externos seriam eventos que podem atingir indivíduo e populações, originados fora da vida social moderna, que acontecem com alguma regularidade e frequência, sendo previsíveis e assim asseguráveis. Por outro lado, riscos manufaturados são gerados pela progressão do desenvolvimento humano, especialmente pelo progresso da ciência e da tecnologia. Eles referem-se aos novos meio-ambientes arriscados, para os quais a história nos forneceu muito pouca experiência prévia, como por exemplo: o terrorismo, a redução da camada de ozônio etc..

Na obra de Giddens, o conceito de risco manufacturado está associado ao conceito de sistemas abstratos. Eles são a base dos mecanismos de descaixei espaço-tempo que modificaram a maneira de estabelecer relações e agency na sociedade atual. O Sistema abstrato contém uma ou mais fichas simbólicas que permitem substituir os objetos relações face a face. O papel moeda passou a ocupar o lugar das mercadorias nas relações comerciais entre os indivíduos, que puderam ser realizadas sem-face. Mas para serem dignas de confiança, as fichas simbólicas necessitam da caução de alguém. Por exemplo, o ouro, a prata ou o diamante precisam ter sua pureza atestados por alguém. Assim como o papel moeda só serve como instrumento das relações comerciais se estiver vinculado a um sistema monetário de confiança. As criptomoedas são a versão contemporânea do sistema financeiro abstrato que não seria possível sem os computadores e as tecnologias de comunicação e informação.

Os sistemas abstratos permitem que depositemos nossa confiança nas relações sociais sem a necessidade de um rosto que as ateste a todo momento. No entanto, em alguns momentos os rostos por trás desses sistemas devem aparecer como forma de reificar a confiança. Podemos passar muito tempo viajando de avião sem nunca conhecer um perito que ateste a qualidade da aeronave, mas em algum momento poderemos ler, assistir uma entrevista ou conhecer algum perito que especifique como a certificação de uma aeronave é feita. Estes momentos em que os sistemas abstratos expõem suas garantias na forma de faces humanas são chamados de ponto de acesso. As faces humanas que atestam as garantias são ditos sistemas peritos

Sobre a importância de sistemas abstratos, Giddens escreve:

"... a natureza das instituições modernas está profundamente ligada ao mecanismo da confiança em sistemas abstratos, especialmente confiança em sistemas peritos. Em condições de modernidade, o futuro está sempre aberto, não apenas em termos da contingência comum das coisas, mas em termos da reflexividade do conhecimento em relação ao qual as práticas sociais são organizadas. Este caráter contrafactual, orientado para o futuro, da modernidade é amplamente estruturado pela confiança conferida aos sistemas abstratos — que pela sua própria natureza é filtrada pela confiabilidade da perícia estabelecida." (Giddens 2004, pag 76)

A sociedade de risco se caracteriza como resultado do processo de modernização reflexiva (Beck, Giddens and Lash, 1994), no qual as ações humanas sobre o meio ambiente, social e não-social, retornam na forma de efeitos colaterais latentes.

Desta forma, podemos afirmar que duas transformações fundamentais vêm afetando a vida das pessoas, ambas conectadas com a crescente influência da ciência e da tecnologia, embora não completamente determinada por elas: o fim da natureza e o fim da tradição. Isto é, a natureza não é mais considerada uma instância externa à sociedade e fonte de ameaça, mas é parte da tríade do mundo atual: Natureza-Sociedade-Tecnociência. Além disso, sua existência está tão ameaçada quanto a nossa. A segunda transformação diz respeito ao fato do passado não ser mais uma fonte segura de conhecimento para orientar nossas ações no presente. Ou seja, a tradição que desempenhou

papel fundamental nas organizações sociais desde os tempos mais remotos dos agrupamentos humanos perde sua eficácia como garantidora da segurança no mundo. Isto por que, à medida que a sociedade fabrica seus próprios riscos, há um enorme grau de incerteza que nasce de situações nunca antes vivenciadas ou imaginadas.

A exposição anterior pretendeu mostrar como a sociedade atual foi modificada pelo uso intensivo e extensivo da ciência e da tecnologia e como ela modificou o mundo, tornando-o o locus da incerteza e dos riscos manufacturados. A educação em geral e a educação científica em particular devem ser capazes de preparar os futuros cidadãos a lidar com este novo mundo. De maneira geral, nenhum processo de tomada de avaliação e decisão tomada de decisão pode ser feito hoje desconsiderando a incerteza que acompanha cada ação num mundo reflexivo.

### 3. EDUCAÇÃO CIENTÍFICA EM CONTEXTOS DE RISCOS MANUFACTURADOS

Nos últimos 25 anos, o tema risco passou a integrar as preocupações dos educadores científicos (Levinson, et al 2012). No relatório Nuffield 2000 sobre educação científica nas escolas, Millar & Osborne, (1998) faziam recomendações sobre ideais básicas de ciência e risco:

By considering some current issues involving the application of science, pupils should . . . understand the ideas of probability and risk; be aware of the range of factors which can influence people's willingness to accept specific risks . . . (p. 2022).

Nos anos de 2000, Jenkins fez um apelo pela inclusão da habilidade de avaliar riscos como uma mudança de paradigma necessário na educação científica (Jenkins 2000). Avaliar riscos é uma demanda corrente e os estudantes devem ser capazes de usar a ciência como suporte para isto. Assessing risks is a current society demand and students, therefore, should be able to use science as support for that. Risco, como lugares de incertezas e complexidade, são um meio dos estudantes trazerem a ciência para suas vidas.

Kolstø (2001) estudando os dilemas sociocientíficos mostra que os estudantes questionam as fontes de avaliação de risco em geral sobre a base de uma relação de confiança em relação à posição de interesse dos cientistas. Ainda afirma que a análise dos estudantes é fracamente baseada no entendimento que eles têm sobre o conhecimento científico ou sobre o entendimento dos problemas ao fazer avaliações de riscos. Levinson e colaboradores (2012) tratam a tomada de decisão em situações-problema envolvendo uma situação fictícia descrita como o dilema de Débora que envolve os riscos associados a uma intervenção cirúrgica. Duplas de professores precisam lidar com a complexidade das relações entre ciência-tecnologia e sociedade e decidir e sobre realizar ou não uma cirurgia, justificando sua decisão.

Em relação a possibilidade de tratar o tema risco na educação básica, uma série de trabalhos realizaram pesquisa envolvendo risco e as formas de tomada de decisão pelos alunos (Kolstø 2001).

No entanto, para Christensen ainda há muito a pesquisar sobre as maneiras como os estudantes entendem os riscos ou o papel que os riscos desempenham na tomada de decisão em questões contemporâneas nas aulas de ciências (2009, p.

212). Para ela, muitos dos trabalhos sobre risco ainda o consideravam na perspectiva externalista, focalizando ameaças naturais e desastres.

Para Schenk, Hamza, et al (2019), o grande desafio para a educação científica reside na complexidade e na própria dupla natureza do risco, o qual se apresenta com caráter objetivo (conhecimento técnico) e subjetivo (envolvido por valores). Ao abordar questões ou temas baseados em risco, deve-se considerar que esses são assuntos altamente complexos, envolvendo um enorme número de variáveis que influenciam direta ou indiretamente o problema. Hansen and Hammann (2017) afirmam que deve-se evitar, na educação científica escolar, a apresentação de temas relacionados ao risco como relações causais simples, envolvendo uma ou poucas variáveis, pois o contexto do mundo real é muito mais complexo do que isso. Ainda questionar o conhecimento científico como confiável e seguro, pois na sociedade de risco a confiança não vem apenas da autoridade, mas da capacidade de ajustar a percepção ao contexto multidimensional ao qual a situação se insere (Christensen, 2009).

Schenk, Hamza, et al (op citado) desenvolvem um modelo para relacionar características subjetivas e objetivas de risco. Propõem uma concepção multidimensional dos riscos, reconhecendo estreitas relações entre risco e tomada de decisão. Seu modelo inclui a “atividade” como base para os problemas de risco, caracterizando-se por ações humanas que conduzem ao risco, mas também atitudes para inibi-lo; “valores” e “conhecimentos” figurando no mesmo nicho epistêmico, interagindo e dando características subjetivas ao risco, o primeiro, e características objetivas, o segundo. Apesar da paridade entre conhecimento e valores, eles podem pesar de forma diferente na avaliação de risco, considerando-se a “incerteza”, a “probabilidade”, a “gravidade” e a “consequência”.

A resolução de problemas sempre foi a base do ensino das ciências e funciona como um motor de ensino e aprendizagem, uma vez que a aprendizagem se torna mais eficiente ao trabalhar na resolução de contextos problemáticos do mundo real (Dewey 1916; Wong e Pugh 2001). A importância da resolução de problemas continua a ser válida para o ensino das ciências numa perspectiva de sociedade de risco.

A resolução de problemas também configura uma das bases para o desenvolvimento de cidadãos contemporâneos na sociedade de risco, pois ajuda a desenvolver competências essenciais no uso do conhecimento.

No entanto, os problemas de risco que estamos discutindo aqui são diferentes dos tradicionais ou “exemplares” (Kuhn 1970, posfácio). Os exemplares de Kuhn são problemas produzidos para materializar algum aspecto pragmático de uma teoria. Eles têm alguma solução padrão, acordada pelas comunidades científicas.

Nesse sentido, durante a formação de um cientista, espera-se que sejam discutidos problemas solucionáveis, uma vez que eles tenham sido previamente validados pela comunidade científica. Assim, os exemplares funcionam como uma forma de manter a própria “ciência normal”. As situações exemplares da ciência normal são problemas já conhecidos, permitindo certas soluções e, portanto, para a perspectiva de risco que estamos apresentando, elas falham.

Os exemplares podem ser considerados problemas falsos, no sentido original de Pólya (1945), uma vez que assumem principalmente a existência de soluções consensuais a priori e a questão a ser resolvida é como fazer com que os alunos acessem essas soluções. Ao trazer esse raciocínio para o ensino de ciências na escola básica, os alunos são expostos a “exemplos compartilhados” de contextos de problemas.

A aprendizagem, então, se baseia na bagagem conceitual prévia, definida pela tradição científica, assumindo que os alunos chegariam a soluções semelhantes para problemas semelhantes. Esse processo também pressupõe que a matriz de racionalidade dos alunos pode ser transposta de um contexto para outro (Abrantes, 1998).

Assim, o risco e a incerteza modificam completamente a base epistemológica, ontológica e axiológica da educação científica, exigindo novos conteúdos, novas metodologias e novas competências a serem aprendidas. Já é possível constatar a presença da temática de risco em alguns currículos em alguns países. Nos Estados Unidos, o Science Education for Public Understanding Program (SEPUP, 2018), para alunos de 6 a 12 anos, inclui um módulo sobre tomada de decisão que trata da percepção de risco e de probabilidade. Na Inglaterra, o The National Curriculum for England (England 2014), possui unidades de aprendizagem sobre avaliação de riscos. Na Austrália, o Australian Curriculum, Assessment and Reporting Authority (Australian Curriculum, 2014) propõe atividades para avaliar riscos e segurança. Também na Inglaterra, em uma disciplina obrigatória para estudantes de 15 a 16 anos, chamada Core Science, o risco foi incluído como umas das seis ideias sobre ciência no Twenty-first century science curriculum (Millar, 2006).

No entanto, estes países parecem ser a exceção. A grande maioria dos currículos de ciências estão muito distantes de incorporar aspectos risco dentre as suas temáticas (Christensen, 2009, Pietrocola et 2025).

Nesses documentos curriculares mencionados acima, ainda que representem uma tendência minoritária, praticamente nada é mencionado sobre os riscos gerados pelas próprias tecnologias nos termos mencionados por Beck e Giddens. E, geralmente, os riscos estão conectados aos perigos naturais e não ao desenvolvimento científico e tecnológico. De certo modo, os currículos incorporam uma forma de tratar o papel dos riscos na formação científica dos futuros cidadãos muito defasada em relação a quais seriam de fato as emergências que tornam riscos tão importantes para serem estudados (Pietrocola e Souza, 2019).

#### **4. DETERMINISMO E A ILUSÃO DO CONTROLE**

Um desdobramento importante da introdução do risco como um aspecto inerente à organização do mundo contemporâneo diz respeito à capacidade de controle e definição de futuro. A forma como uma sociedade concebe causalidade, liberdade e tempo passa a ser fundamental na construção do imaginário dos indivíduos e não apenas mais é um detalhe abstrato: ele sustenta a forma como avaliamos o futuro, atribuímos responsabilidade às ações e alimentamos a expectativa de que a realidade possa ser conduzida por planejamento e controle (Giddens, 1990, 1991).

O filósofo William James formulou o que ficou conhecido como o “Dilema do Determinismo”. Em uma versão retomada por Karl Popper em *O universo inacabado*, o dilema é exposto como a tensão entre causalidade universal e escolha livre:

“Todo evento é causado por um evento que o precede, de modo que se poderia prever ou explicar qualquer evento... Por outro lado, o senso comum atribui às pessoas sadias e adultas a capacidade de escolher livremente, entre várias vias de ação distintas...” (James, 1897/1956; Popper, 1982).

Essa formulação evidencia que a disputa não é apenas metafísica, mas também antropológica e política: a crença em leis causais invioláveis tende a favorecer a ideia de que a história possui uma direção cognoscível e administrável por especialistas; já a experiência ordinária de deliberar, escolher e responder por consequências pressupõe algum grau de abertura do futuro (Giddens, 1990). Ao aderirmos culturalmente a um desses polos, definimos o estatuto do futuro (Levrini, Tasquier, Branchetti, & Barelli, 2019). Se o universo é estritamente determinista, o amanhã estaria inscrito no hoje, e a liberdade tenderia a ser reinterpretada como aparência psicológica produzida por nossa ignorância. Se, ao contrário, a liberdade é real, o futuro se revela como campo de possibilidades, sendo continuamente construído por ações individuais e decisões coletivas. A maneira como indivíduos e sociedades se projetam no tempo é, portanto, profundamente moldada por essa crença — consciente ou não.

Antes que a física viesse a solidificar uma visão de mundo amplamente determinista, a própria concepção humana de tempo percorreu uma longa jornada histórico-cultural. A modernidade, porém, estabilizou uma relação específica com a temporalidade ao associá-la a uma narrativa de avanço: passado, presente e futuro passam a organizar-se em uma linha orientada, na qual o amanhã pode ser melhor do que o hoje (Koselleck, 2004). Quando essa temporalidade se combina à aceleração social e tecnológica, o futuro aparece menos como um campo de possibilidades em disputa e mais como um território a ser antecipado, administrado e otimizado — o que reforça a demanda por previsões, indicadores e intervenções rápidas (Rosa, 2003; Giddens, 1990). A ciência não apenas descreve o mundo: ela alimenta um imaginário de calculabilidade, no qual a incerteza tende a ser percebida como falha provisória.

Esse horizonte atingiu sua expressão máxima no ideal do “Demônio de Laplace”. A hipótese, formulada no início do século XIX, afirma que uma inteligência capaz de conhecer integralmente as posições, movimentos e leis que regem cada partícula do universo em um dado instante poderia reconstruir todo o passado e prever todo o futuro (Laplace, 1814/1951). Estudos histórico-filosóficos mostram como essa imagem sintetiza, em linguagem acessível, um ideal de inteligibilidade total associado ao projeto da física clássica, embora as bases e os alcances desse determinismo sejam objeto de debate (van Strien, 2014).

Esse horizonte consolidou-se como imaginário cultural de previsibilidade apoiado, de um lado, na física clássica e, de outro, na leitura de que, em princípio, o futuro estaria contido nas condições presentes. A simetria temporal de grande parte das leis fundamentais contribuiu para a ideia de que as equações não distinguem, no nível formal, passado e

futuro, enquanto a “seta do tempo” emerge de condições e processos específicos (Price, 1996; Zeh, 2007).

Essa concepção científica de tempo não ficou restrita aos laboratórios. Ela extravasou e moldou práticas de governo, economia e organização social, sustentando a promessa de que o futuro, embora desconhecido, seria essencialmente calculável. Nesse quadro, problemas coletivos complexos são frequentemente traduzidos em problemas de gestão, e a autoridade tende a deslocar-se para sistemas peritos e arranjos tecnocráticos de decisão (Giddens, 1990; Jasanoff, 2003).

Contudo, a própria experiência moderna revela fissuras nessa promessa. Em sistemas não lineares, pequenas variações nas condições iniciais podem produzir trajetórias radicalmente divergentes, limitando a previsibilidade de longo prazo mesmo quando os modelos são deterministas (Lorenz, 1963; Levrini, O., & Fantini, P. 2013). Além disso, intervenções tecnocientíficas geram efeitos colaterais e consequências não intencionais que se acumulam fora do campo de visão imediato, reconfigurando o problema ao longo do tempo (Beck, 1992).

Há, ainda, um elemento decisivo quando o objeto de conhecimento envolve práticas sociais reflexivas: indicadores, previsões e métricas alteram comportamentos, mercados e políticas, fazendo com que o conhecimento atue sobre o próprio sistema que pretende descrever (Giddens, 1990; Espeland & Sauder, 2007). Assim, a noção de controle costuma sobreviver como ideal normativo — e como fonte de segurança ontológica — mesmo quando o mundo que se pretende controlar é, de fato, aberto, contingente e em transformação (Giddens, 1991).

É nesse ponto que a discussão sobre determinismo dialoga diretamente com a sociedade de risco. A tecnociência amplia a capacidade de intervir e, simultaneamente, a capacidade de produzir riscos de nova ordem: ameaças invisíveis, distribuídas no tempo e no espaço, globais e dificilmente atribuíveis a uma única causa, frequentemente reconhecidas apenas quando seus efeitos já se manifestam (Beck, 1992; Beck, Giddens, & Lash, 1994). Nesse cenário, insistir em que o futuro é plenamente controlável pode adiar decisões prudentes em nome da espera por certezas que não virão, obscurecer controvérsias e reforçar dependências de sistemas peritos, deslocando responsabilidades para instâncias que prometem, mas não podem garantir, a eliminação do risco (Wynne, 1992; Jasanoff, 2003).

Reconhecer os limites do determinismo, portanto, não significa abandonar a racionalidade científica, mas deslocar seu papel: do ideal de previsão e domínio para a construção de orientações provisórias, revisáveis e socialmente robustas. Essa inflexão aproxima-se da noção de ciência pós-normal, para a qual “fatos são incertos, valores estão em disputa, as apostas são altas e as decisões são urgentes”, exigindo participação ampliada e explicitação de pressupostos (Funtowicz & Ravetz, 1993).

Para a educação científica, as implicações são diretas: trata-se de formar não apenas competências conceituais, mas disposições para lidar com incerteza, compreender limites de modelos, explicitar valores e deliberar coletivamente sobre riscos e futuros possíveis (Pietrocola, Schnorr, & Rodrigues, 2025; Rosenberg et al., 2022). Perspectivas como o “futures thinking” reforçam que a agência

responsável depende de aprender a agir com conhecimento provisório, considerando múltiplas temporalidades e consequências distribuídas (Laherto & Rasa, 2022). Em campos como riscos ambientais e desastres, propostas de literacia para riscos destacam, ainda, a necessidade de ir além de “soluções tecnológicas” e cultivar formas de aprendizagem mais lentas e reflexivas, capazes de sustentar decisões sob incerteza (Park, 2025).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A natureza com a qual a humanidade aprendeu a lidar e a conhecer desde os primórdios de sua existência já não existe mais. Em algum momento nos últimos 70 anos, a humanidade deixou de se preocupar com o que a natureza poderia fazer com ela e passou a preocupar-se mais sobre o que se havia feito com a natureza. O ponto enfatizado por Beck é que vivemos numa sociedade de risco, que emerge no período do pós-guerra em estágio de modernidade reflexiva. Somos uma sociedade que vive a pós-natureza, reflexo da tecnociência que transformou a natureza em tecnonatureza. Neste tipo de modernidade, as preocupações centrais da sociedade mudam do desenvolvimento e implementação de novas tecnologias para o gerenciamento de riscos associados às tecnologias já existentes. Na sociedade de risco, a percepção do risco tem um impacto fundamentalmente transformativo. Em momentos passados da história, o risco era aparente, definitivamente os desastres naturais testavam constantemente as comunidades ao longo do globo. Nesse sentido, Beck nos ajuda a entender que as instituições sociais são desestabilizadas pelo risco de responsabilidade humana. Deste modo a essência do risco foi completamente modificada na atualidade, principalmente nos domínios ecológicos, políticos e cultural. Nesta nova ordem social, fica claro que embora o uso coloquial possa criar uma zona de superposição semântica entre perigo e risco, essas noções pertencem a mundos muito diferentes. Desta forma, podemos afirmar que duas transformações fundamentais vêm afetando as vidas das pessoas, ambas conectadas com a crescente influência da ciência e da tecnologia, embora não completamente determinada por elas: o fim da natureza e o fim da tradição.

De certa forma, a educação científica ainda se vincula a uma perspectiva de mundo antiga. Entendemos que educar na perspectiva de uma sociedade de risco envolve mudanças de

ordem epistemológica e ontológica em relação ao conhecimento científico ensinado visto que conhecer e não-conhecer apresentam-se superpostos e mediados a cada momento por sistemas abstratos que nos são translúcidos. Exige também uma mudança de perspectiva axiológica visto que não devemos esperar do conhecimento orientações certas e seguras sobre como agir individual e socialmente visto que a incerteza é a marca da contemporaneidade. Em grande parte dos desafios enfrentados pelos indivíduos, o máximo que podemos esperar são previsões mais ou menos precisas sobre cenários futuros e uma predisposição a rever o conhecimento e retificar decisões à medida que o desenrolar dos fatos tragam novas evidências. Portanto, saber quais são os fatores vinculados à percepção de risco pode permitir compreender como os indivíduos se comportam e agem diante de situações incertas. Esse ponto é relevante, posto que tais ações, em geral, estão por trás das tomadas de decisão. Ameaças, como a pandemia de COVID-19 e as Mudanças climáticas são bons exemplos para entender como a percepção de risco pode afetar o comportamento dos indivíduos e as atitudes relacionadas a eles.

Num trabalho de 2021, Pietrocola e colaboradores desenvolvem uma matriz de entendimento da percepção de risco e os fatores importantes que a modulam. A matriz foi estruturada em três eixos: “acesso”; “alcance” e “urgência”. Acesso se associa ao pensamento racional amparado pela cognição científica. Urgência pela hierarquia de valores individuais e partilhados numa dada cultura. Alcance pela capacidade de estabelecer avaliações sobre impactos, esta dimensão sendo fortemente mediada pela informação. Juntos, eles “indicam” a abrangência da percepção do risco associado à situação em foco. A distância aos eixos informa sobre a “localização” em termos de local-global.

As três dimensões poderiam ser entendidas como coordenadas num “espaço de percepção”, que poderia ser utilizado com alunos ou grupos de alunos para se entender a ampliação da percepção de risco num certo contexto (Silva, 2023). A posição do indivíduo ou grupo de indivíduos no espaço de percepção de risco seria, por um lado, um indicador da capacidade desenvolvida e, por outro lado, da necessidade de investimento no desenvolvimento desta capacidade.

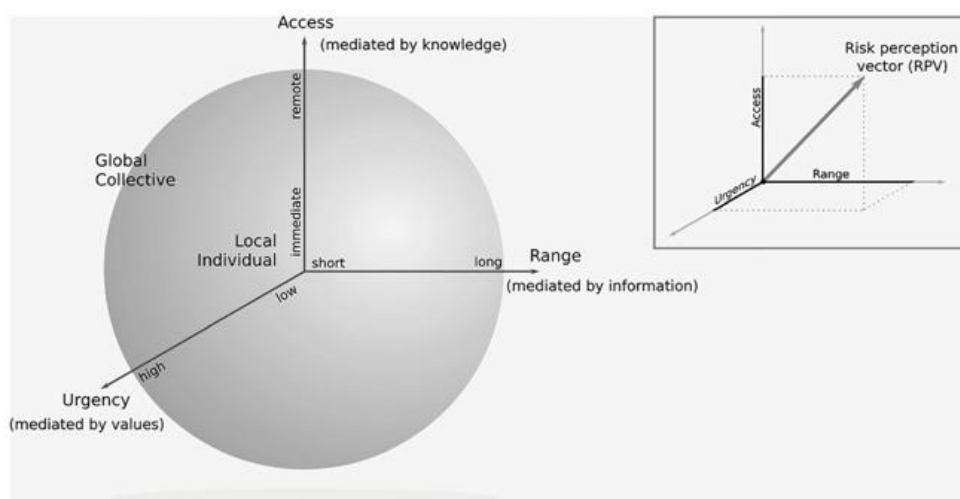


Figura 1. Matriz de percepção ampliada de risco. fonte: Pietrocola et al. 2020, página 222



Os eixos não são independentes de modo que se trata de uma abstração que visa oferecer uma métrica capaz de posicionar a percepção do risco em relação à abrangência da percepção do risco. Para o exercício de uma cidadania adequada à modernidade reflexiva, as regiões mais externas do espaço de percepções seriam mais desejáveis do que as mais internas. Assim, o objetivo da educação científica seria o de ampliação da percepção

A capacidade de perceber as situações de risco de modo amplo é determinante para o sucesso ou o fracasso no enfrentamento de situações de ameaça. E ela depende da: consciência do conhecimento científico disponível ou ausente; da consideração dos impactos do risco nas várias dimensões da vida individual e coletiva; da avaliação sobre as informações oferecidas pelos agentes públicos e as decisões por ele tomadas. Nota-se, assim, que a percepção de risco e a subsequente tomada de decisão que dela deriva, necessita muito mais do que um background de conteúdos científicos predeterminados e de um senso comum imediato dos efeitos e impactos decorrentes de situações de risco. Isso implica em ampliar o foco de análise que sustenta a percepção do risco de forma a desenvolver a possibilidade de os alunos produzirem avaliações de abrangência limitada ou ampliada. Diante disso, é essencial reforçar a ideia que os riscos, em especial, aqueles que resultam da modernidade reflexiva, precisam ser explicitamente debatidos e racionalizados, uma vez que vêm incorporados de perspectivas epistemológicas, psicológicas, sociológicas e culturais e pedagógicas. E não há ambiente mais apropriado para isso que as escolas. Os estudantes deveriam ser educados para reconhecer os riscos gerados pela tecnociência a fim serem capazes de tomar decisões bem informadas. Entendemos que a exposição acima exige a ampliação da concepção de educação em ciências, sobretudo no desenvolvimento de projeto educacional que seja coerente com a sociedade atual e com uma atuação mais próxima das problemáticas contemporâneas.

A superação da ilusão determinista (Levrini, Pietrocola e Erduran, 2024) é um passo intelectual e cultural crucial para adaptar a racionalidade científica e a formação cidadã aos desafios da sociedade de risco. Trata-se de reconhecer que a complexidade, a contingência e a incerteza não são falhas a serem eliminadas, mas características intrínsecas do mundo em que vivemos e atuamos.

Nesse novo contexto, a função da racionalidade científica se desloca. Seu papel deixa de ser o ideal de "previsão e domínio" para se tornar a "construção de orientações provisórias, revisáveis e socialmente robustas". Essa mudança não enfraquece a ciência; pelo contrário, a adapta a um cenário de incertezas irredutíveis e decisões de alto risco. É nesse cenário que as noções de ciência pós-normal e de deliberação ampliada ganham centralidade, preparando o terreno para uma ciência mais adequada aos desafios contemporâneos.

As implicações dessa reorientação para a educação científica são diretas e profundas, delineando uma nova missão para o ensino de ciências no século XXI. A formação cidadã deve agora incluir um conjunto expandido de competências e disposições:

Desenvolver competências conceituais tradicionais, que continuam sendo a base do conhecimento científico.

Formar disposições para lidar com a incerteza de forma produtiva, compreendendo-a não como um déficit, mas como uma condição para a ação responsável.

Capacitar os cidadãos a explicitar os valores que estão inevitavelmente subjacentes às decisões tecnocientíficas, superando a falsa neutralidade técnica.

Promover a habilidade de deliberar coletivamente sobre riscos e futuros possíveis, fortalecendo a participação democrática em temas complexos.

Em suma, a educação científica para uma sociedade de risco deve ir muito além de exercitar o conhecimento em resolver problemas típicos de perfil determinista. Sua nova e mais urgente tarefa é preparar cidadãos para participar de forma crítica, reflexiva e responsável da construção de um mundo onde o futuro não está dado, mas precisa ser contínua e coletivamente negociado em meio à incerteza.

## 6. REFERÊNCIAS

- Abrantes, P. (1998). Kuhn e a noção de exemplar. *Principia: an international journal of epistemology*, 2(1), 61–102.
- Australian Curriculum, Assessment and Reporting Authority. (2014). *The Australian curriculum*. <https://www.australiancurriculum.edu.au/Home>. Accessed 15 Dec 2025.
- Beck, U. (1992). *Risk society: Towards a new modernity* (M. Ritter, Trans.). Sage. (Original work published 1986).
- Beck, U. (1996). World risk society as cosmopolitan society? Ecological questions in a framework of manufactured uncertainties. *Theory, Culture & Society*, 13(4), 1–32.
- Beck, U., Blok, A., Tyfield, D., & Zhang, J. Y. (2013). Cosmopolitan communities of climate risk: conceptual and empirical suggestions for a new research agenda. *Global Networks*, 13(1), 1–21.
- Beck, U., Giddens, A., & Lash, S. (1994). *Reflexive modernization: Politics, tradition and aesthetics in the modern social order*. Stanford University Press.
- Bernardo, S., Vasconcelos, M. L., & Rocha, F. (2025). SDG progress and well-being across the EU. Are we happier yet? *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, 1796. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-06064-4>
- England. (2014). *The National Curriculum in England*. Department For Education. <https://assets.publishing.service.gov.uk/government>. Accessed 15 Apr 2025.
- Espeland, W. N., & Sauder, M. (2007). Rankings and reactivity: How public measures recreate social worlds. *American Journal of Sociology*, 113(1), 1–40. <https://doi.org/10.1086/517897>
- Funtowicz, S. O., & Ravetz, J. R. (1993). Science for the post-normal age. *Futures*, 25\*(7), 739–755. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(93\)90022-L](https://doi.org/10.1016/0016-3287(93)90022-L)
- Gerges, E. (2025). Science education in the age of misinformation. *Frontiers in Education*, 10. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1615769>



- Giddens, A. (1990). *The consequences of modernity*. Polity Press.
- Giddens, A. (1991). *Modernity and self-identity: Self and society in the late modern age*. Polity Press.
- Giddens, A. (1991). *Modernity and Self-Identity: Self and Society in the Late Modern Age*. Stanford University Press.
- Giddens, A., & Pierson, C. (1998). *Conversations with Anthony Giddens: Making sense of modernity*. Stanford University Press.
- Hansen, J., & Hammann, M. (2017). Risk in science instruction. *Science & Education*, 26, 749–775. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9923-1>
- House of Lords (2000). *Science and technology - third report*, Science and Technology Committee Publications. London: House of Lords.
- Ianni, A. M. Z. choque antropológico. *Sociologias* 14, 364–380 (2012).
- James, W. (1897/1956). The dilemma of determinism. In *The will to believe and other essays in popular philosophy* (pp. 145–183). Dover Publications.
- Jasanoff, S. (2003). Technologies of humility: Citizen participation in governing science. *Minerva*, 41(3), 223–244. <https://doi.org/10.1023/A:1025557512320>
- Koselleck, R. (2004). *Futures past: On the semantics of historical time* (K. Tribe, Trans.). Columbia University Press.
- Laherto, A., & Rasa, T. (2022). Facilitating transformative science education through futures thinking. *On the Horizon*, 30(2), 96–103. [<https://doi.org/10.1108/OTH-09-2021-0114>]
- Laplace, P.-S. (1814/1951). *A philosophical essay on probabilities* (F. W. Truscott & F. L. Emory, Trans.). Dover Publications.
- Levrini, O., Pietrocola, M., & Erduran, S. (2024). Breaking Free from Laplace's Chains: Reimagining Science Education Beyond Determinism. *Science & Education*, 33, 489–494. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00528-w>
- Levrini, O., & Fantini, P. (2013). Encountering productive forms of complexity in learning modern physics. *Science & Education*, 22(8), 1895–1910. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9587-4>
- Levrini, O., Tasquier, G., Branchetti, L., & Barelli, E. (2019). Developing future-scaffolding skills through science education. *International Journal of Science Education*, 41(18), 2647–2674. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1693080>
- Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20(2), 130–141. [[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1963\)020](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020)]
- Mendelson, D. (2010). Central terms and thinkers. In A. Elliot (Ed.), *The Routledge companion to social theory*. London: Routledge.
- Millar, R. (2006). Twenty first century science: insights from the design and implementation of a scientific literacy approach in school science. *International Journal of Science Education*, 28(13), 1499–1521. <https://doi.org/10.1080/09500690600718344>.
- SEPUP (2018). Decision making probability and risk assessment. *Science Education for Public Understanding Program*. <https://sepuplhs.org/middle/modules/decision/index.html>. Accessed 17 Apr 2025.
- Silva, L. do N. (2023). *Educação científica e sociedade de risco: Um estudo exploratório sobre percepção de risco acerca da pandemia de COVID-19* [Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo]. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP. [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-15082023-165737/publico/Leandro\\_do\\_Nascimento\\_Silva.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-15082023-165737/publico/Leandro_do_Nascimento_Silva.pdf)
- Park, W. (2025). STEM education for transformative hazard literacy: From technological fixes to slow learning. *Journal of Hazard Literacy*, 1(1), e3. <https://doi.org/10.63737/jhl.25.0014>(<https://doi.org/10.63737/jhl.25.0014>)
- Petzold, A. M., & Nichols, M. D. (2025). Regaining scientific authority in a post-truth landscape. *Publications*, 13(4), 65. <https://doi.org/10.3390/publications13040065>
- Pietrocola, M., Rodrigues, E., Bercot, F., & Schnorr, S. (2021). Risk society and science education. *Science & Education*, 30, 209–233. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00176-w>
- Pietrocola, M., Schnorr, S., & Rodrigues, E. (2025). Science education in a risk society: Addressing challenges and opportunities in an uncertain future. *Research in Science Education*, 55(4), 941–960. <https://doi.org/10.1007/s11165-025-10238-0>
- Popper, K. R. (1982). *The open universe: An argument for indeterminism*. Rowman & Littlefield.
- Price, H. (1996). *Time's arrow and Archimedes' point: New directions for the physics of time*. Oxford University Press.
- Rosa, H. (2003). Social acceleration: Ethical and political consequences of a desynchronized high-speed society. *Constellations*, 10(1), 3–33. <https://doi.org/10.1111/1467-8675.00309>
- Rosenberg, J. M., Kubsch, M., Wagenmakers, E.-J., & Dogucu, M. (2022). Making sense of uncertainty in the science classroom: A Bayesian approach. *Science & Education*, 31(5), 1239–1262. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00341-3>
- Schenk, P., Van Gorp, A., & Boone, W. (2019). Scientific literacy in context: Examining science education and its societal implications. *Cultural Studies of Science Education*, 14(3), 721–732.
- Schöngart, S., Nicholls, Z., Hoffmann, R., et al. (2025). High-income groups disproportionately contribute to climate extremes worldwide. *Nature Climate Change*, 15, 627–633. <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02325-x>

Snowden, D., & Boone, M. E. (2007). A Leader's Framework for Decision Making. *Harvard Business Review*, 85(11), 68–76.

Sørensen, M. P. (2018). Ulrich Beck: exploring and contesting risk. *Journal of Risk Research*, 21(1), 6–16.

<https://doi.org/10.1080/13669877.2017.1359204>.

Toulmin, S. (1990). *Cosmopolis: The hidden agenda of modernity*. Free Press.

van Strien, M. (2014). On the origins and foundations of Laplacian determinism. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 45(1), 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2013.11.005>

Van Beurden, E., & Kia, A. (2018). Wicked Problems and Climate Change: Re-framing the Wicked Problem of Climate Change as a Wicked Integration Problem. *Journal of Business Ethics*, 152(1), 83–101.

White, P. J., Ferguson, J. P., O'Connor Smith, N., & O'Shea Carre, H. (2022). School strikers enacting politics for climate justice: Daring to think differently about education. *Australian Journal of Environmental Education*, 38(1), 26–39. <http://doi.org/10.1017/ae.2021.24>

World Health Organization (WHO). (2019). *A World at Risk: Annual Report on Global Preparedness for Health Emergencies*. World Health Organization.

Wynne, B. (1992). Misunderstood misunderstandings: Social identities and public uptake of science. *Public Understanding of Science*, 1(3), 281–304. <https://doi.org/10.1088/0963-6625/1/3/004>

Zeh, H. D. (2007). *The physical basis of the direction of time* (5th ed.). Springer.

Zeidler, D. L., Applebaum, S. M., & Sadler, T. D. (2011). Enacting a socioscientific issues classroom: Transformative transformations. In T. Sadler (Ed.), *Socio-scientific issues in the classroom* (Contemporary Trends and Issues in Science Education, Vol. 39). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1159-4\\_16](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1159-4_16)