

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

Maurício Pietrocola

mpietro@usp.br

Facultad de Educación, Universidad de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil.

Resumen

Este artículo de reflexión analiza cómo la idea moderna de «progreso», entendida como la mejora de las condiciones materiales medias 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 los «riesgos fabricados» y la confianza en sistemas especializados (Giddens), se argumenta que muchas amenazas actuales son difíciles de percibir objetivamente debido a su invisibilidad, rapidez y carácter emergente. Se defienden las implicaciones para la educación científica: formar ciudadanos capaces de evaluar riesgos, deliberar en escenarios de incertidumbre y comprender los límites y el alcance del conocimiento especializado en las decisiones públicas.

Palabras clave: educación científica; sociedad del riesgo; riesgos fabricados; 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.

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

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.

Incertitude, riesgo y 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. INTRODUCCIÓN

La emergencia de la crisis climática en las últimas décadas ha planteado retos que trascienden las fronteras de la ciencia tradicional y las instituciones políticas modernas. Hoy en día, es necesario admitir que la existencia humana se ve amenazada como consecuencia de decisiones tomadas en el pasado. La acumulación de gases de efecto invernadero generados durante siglos de actividad industrial, principalmente por los países desarrollados, ha cambiado las características físicas de la atmósfera y modificado el equilibrio energético del planeta. Lo mismo puede decirse del escenario geopolítico, donde los conflictos pueden desencadenar una nueva guerra mundial con el uso de armas nucleares, también capaces de extinguir a la especie humana.

La percepción pública de la ciencia y la tecnología se ha ido degradando junto con las condiciones climáticas y la incapacidad de las ciencias para ofrecer soluciones a las amenazas a la civilización, como ocurrió recientemente con la pandemia de COVID-19. A pesar de los beneficios que se han obtenido gracias a la ciencia y la tecnología (al menos para las personas que viven en regiones ricas e industrializadas), como el aumento de la esperanza de vida, el agua potable, el saneamiento básico y la modernidad tardía, se ha observado un aumento de la ansiedad pública y de la frágil confianza en la ciencia (Gerges, 2025). Los movimientos negacionistas (Petzold y Nichols, 2025) son la punta del iceberg de un problema más profundo, que pone en tela de juicio el papel de la racionalidad científica en la estructuración de la sociedad moderna.

Existe un gran debate sobre las causas que generaron la policrisis que se vive en este comienzo del siglo XXI. Parece inevitable admitir la responsabilidad parcial de las ciencias, y en particular de la racionalidad científica, en las amenazas a las que se enfrenta la humanidad. La propia idea de «progreso», traducida en la innegable mejora de las condiciones materiales medias de vida, se reviste de esta universalidad (Bernardo, Vasconcelos y Rocha, 2025). Sin embargo, este progreso se ha obtenido a costa del aumento de la desigualdad entre regiones y países, de la concentración de ingresos de empresas y particulares, del desprecio por las culturas locales, de la degradación del medio ambiente y de la calidad de vida de otros seres vivos (Schöngart, Nicholls, Hoffmann, et al. 2025).

Hoy en día, es necesario admitir que el proyecto de la modernidad ha fracasado en su intento de ofrecer una vida mejor a los seres humanos. La modernidad, tal y como la

concibieron los filósofos ilustrados del siglo XVIII, parece hoy, más que nunca, lejos de alcanzar sus objetivos. Stephen Toulmin (1990) considera que el periodo moderno comenzó en el siglo XVI con la elección de la racionalidad como mediador capaz de superar la inconmensurabilidad en las disputas de orden religioso y moral que afectaron a Europa en el siglo anterior. La opción por una sociedad en la que las disputas fueran mediadas por la razón allanó el camino hacia la paz, pero dejó poco espacio para las diferencias y la diversidad e impuso un modelo universalizador en las formas de ser y estar en el mundo.

Vivimos en lo que algunos llaman una sociedad del riesgo (Beck, 1992), una sociedad que, al buscar la seguridad mediante la transformación del medio ambiente a través de la ciencia y la tecnología, pasó a fabricar las amenazas que ponen en peligro su supervivencia (Giddens, 1991). Esta sociedad se caracteriza por las incertidumbres fabricadas como efectos secundarios de las acciones tomadas en la estructuración de la vida social. En esta concepción, el uso de combustibles fósiles fue un recurso abundante y barato en la producción de energía y permitió la revolución industrial, pero como consecuencia generó los gases que transformaron nuestra atmósfera y dieron lugar al calentamiento global.

La vida en la sociedad del riesgo genera ansiedad en las personas, ya que exige la toma de decisiones en escenarios de incertidumbre, que implican factores imponderables e inconmensurables que no pueden reducirse a cero, ni por las experiencias previas, ni por el recurso a los expertos. En tales escenarios, el conocimiento científico pierde gran parte de su eficacia en la orientación de las políticas y las decisiones sociales. Esto se puede percibir en la afirmación realizada por el comité de ciencia y tecnología de la Cámara de los Lores del Reino Unido en el informe Ciencia y sociedad: «Cuando la ciencia y la sociedad cruzan espadas, a menudo es por la cuestión del riesgo» (Cámara de los Lores, 2000).

Ante este ambiente de desconfianza en las ciencias y de gran ansiedad, valdría la pena preguntarse: ¿será a través de un mayor conocimiento científico como lograremos una sociedad justa y distribuidora del bienestar social? ¿Cómo utilizar las ciencias para hacer frente a los diversos tipos de problemas a los que se enfrenta la sociedad? ¿El progreso, tanto científico como material, ha hecho que la vida sea más segura y que las personas sean más felices?

En este contexto de reflexión civilizatoria, es más necesario que nunca replantearse el papel de la educación científica. ¿Cómo participa la educación científica en el proyecto de la

modernidad y cómo replantearla para ajustar sus objetivos a un mundo de incertidumbres fabricadas?

Responder a esta pregunta pasa por comprender los retos del mundo contemporáneo y ser capaz de concebir un nuevo proyecto de educación científica que permita vislumbrar futuros alternativos y la construcción del mundo en el que nos gustaría vivir.

2. LA SOCIEDAD DEL RIESGO

El sociólogo Ulrich Beck saltó a la fama a principios de la década de 1990 al introducir el concepto de «sociedad del riesgo» para analizar la sociedad occidental posindustrial. Sus trabajos buscaban conectar las transformaciones institucionales y los retos con las acciones de la micropolítica cotidiana en ámbitos como la salud, la economía y el medio ambiente (Sørensen, 2018). Según Ianni (2012), Beck presenta su teoría en tres obras: *Risk Society: Towards a New Modernity* (1992), *Ecological politics in a age of risk* (1995) y *World risk society* (1999). La tesis que defiende es que la sociedad industrial, basada en el conocimiento científico y tecnológico, ha pasado a generar situaciones de amenaza. Es importante destacar que la sociedad de riesgos es aquella en la que las catástrofes se han convertido en la normalidad y ya no son situaciones excepcionales (Beck, 1992, p. 24). Además, es importante destacar que la ciencia y la tecnología están en el centro del debate propuesto por Beck, Giddens y otros adeptos a la teoría de la sociedad del riesgo (Mendelson, 2010, p. 231).

Para Beck, el concepto de riesgo tiene un impacto profundamente transformador en la sociedad actual y ha servido como medio para caracterizar mejor el orden social en la contemporaneidad (Mendelson 2010). Siguiendo esta premisa, la sociedad que surge en el período de la posguerra pasa a caracterizarse mejor por su capacidad de producir «riesgos y cargas asociados a la tecnología (como la contaminación, los residuos nucleares, el calentamiento global y los efectos secundarios de los tratamientos médicos)» (op. cit., p. 296).

Una primera interpretación es que las sociedades industriales experimentaron cambios importantes como consecuencia de los riesgos ambientales, principalmente la contaminación atmosférica y la contaminación radiactiva. El aumento de este tipo de riesgos provocó un incremento desproporcionado en la percepción que las personas tienen de ellos, modificando sus creencias, intereses y comportamientos.

La centralidad del conocimiento científico, en sentido amplio, en la teoría de la sociedad del riesgo aporta algunas características específicas a los riesgos y genera condiciones para que los medios sociales los identifiquen. En las sociedades premodernas e incluso en la alta modernidad, los riesgos no requerían conocimientos especializados para ser identificados, ya fuera por sus orígenes en la naturaleza (una tormenta) o en el funcionamiento social (riesgo de quedarse sin trabajo). No se puede decir lo mismo de los riesgos actuales. La gran mayoría de ellos permanecen ocultos para la mayoría de las personas (como los virus con potencial para crear epidemias, como el COVID-19). A menudo, el riesgo solo se percibe cuando ya se ha materializado en amenazas con consecuencias irreversibles. Una forma de caracterizar la dependencia científica de los riesgos en la modernidad tardía es considerar que las amenazas son

definidas y formateadas por especialistas. Por ejemplo, la potabilidad del agua que consumimos está garantizada por pruebas de laboratorio y firmada por un técnico responsable. Los exámenes de salud siguen la misma lógica de validación. Lo que significa que el riesgo de estar enfermo depende de los estándares establecidos por los técnicos del área de la salud, y por lo tanto pueden variar en el tiempo y de un lugar a otro.

Otro aspecto importante es que la ampliación de la percepción del riesgo implica una pérdida de confianza en el mundo. Anthony Giddens explica que la estabilidad del mundo es algo esencial para la existencia humana y que se traduce en la noción de seguridad ontológica (1991). El aumento de la ansiedad puede entenderse como el resultado de una creciente toma de conciencia de los riesgos que han pasado a poblar el marco de referencia de las personas. Es decir, los riesgos indican un debilitamiento de la seguridad ontológica y colocan a los actores sociales en un estado de atención permanente. En la sociedad del riesgo, la sensación de seguridad se ha perdido, por así decirlo. Lo máximo que se puede esperar es lidiar con el riesgo confiando en personas o en instancias de la sociedad que nos ofrezcan algún grado de control sobre él. Por lo tanto, no se debe preguntar sobre la seguridad en el uso de un medicamento o un medio de transporte, sino sobre el grado de confianza que se puede asociar a ellos. En este sentido, en la sociedad del riesgo se sustituye el par peligro-seguridad por el par riesgo-confianza.

Los riesgos actuales son difíciles de percibir objetivamente, ya sea por la velocidad de los acontecimientos, por la invisibilidad de las amenazas o por la inevitable aparición de nuevos riesgos. Este escenario hace que las personas vean sus vidas condicionadas por riesgos que, a menudo, son invisibles, pero reales o incluso irreales. El cambio climático, el calentamiento global, los incendios forestales, los accidentes medioambientales y las pandemias son ejemplos que promueven estos debates, ya que parte de la población observa y convive con estos problemas, ya sean de alcance global o local (Giulio et al., 2015; Pietrocola, Schnorr y Rodrigues, 2025).

En este debate sobre el nuevo orden social en la contemporaneidad, el mérito de Beck y Giddens fue proponer una macro teoría sociológica centrada en la interacción entre la sociedad y la naturaleza. En un primer momento, cabría preguntarse si en el nuevo orden mundial los riesgos realmente han aumentado o si solo ha aumentado su percepción pública. Para Beck, esta distinción no tiene sentido, ya que «ambos lados convergen, se condicionan mutuamente, se fortalecen mutuamente y, al igual que los riesgos como riesgos en el conocimiento, las percepciones de los riesgos y los riesgos no son cosas diferentes, sino la misma cosa» (op. cit., p. 55). El difuminado de las fronteras se produce porque, desde la perspectiva de la sociedad del riesgo, lo que emerge son los riesgos producidos internamente en la sociedad y cuya responsabilidad recae en la humanidad. Esto es lo que Giddens definió como riesgos fabricados, que se diferencian de los riesgos externos que acompañan a la civilización humana desde sus inicios (Giddens, 2004). Así, los riesgos externos serían acontecimientos que pueden afectar a individuos y poblaciones, originados fuera de la vida social moderna, que ocurren con cierta regularidad y frecuencia, siendo previsibles y, por lo tanto, asegurables. Por otro lado, los

riesgos fabricados son generados por el progreso del desarrollo humano, especialmente por el avance de la ciencia y la tecnología. Se refieren a los nuevos entornos de riesgo, para los que la historia nos ha proporcionado muy poca experiencia previa, como por ejemplo: el terrorismo, la reducción de la capa de ozono, etc.

En la obra de Giddens, el concepto de riesgo manufacturado está asociado al concepto de sistemas abstractos. Estos son la base de los mecanismos de desencaje espacio-tiempo que han modificado la forma de establecer relaciones y agencia en la sociedad actual. El sistema abstracto contiene una o más fichas simbólicas que permiten sustituir los objetos de las relaciones cara a cara. El papel moneda pasó a ocupar el lugar de las mercancías en las relaciones comerciales entre individuos, que pudieron realizarse sin contacto personal. Pero para ser dignas de confianza, las fichas simbólicas necesitan la garantía de alguien. Por ejemplo, el oro, la plata o los diamantes necesitan que alguien certifique su pureza. Del mismo modo, el papel moneda solo sirve como instrumento de las relaciones comerciales si está vinculado a un sistema monetario de confianza. Las criptomonedas son la versión contemporánea del sistema financiero abstracto, que no sería posible sin las computadoras y las tecnologías de la comunicación y la información.

Los sistemas abstractos nos permiten depositar nuestra confianza en las relaciones sociales sin necesidad de que haya un rostro que las certifique en todo momento. Sin embargo, en algunos momentos, los rostros detrás de estos sistemas deben aparecer como una forma de reificar la confianza. Podemos pasar mucho tiempo viajando en avión sin conocer nunca a un experto que certifique la calidad de la aeronave, pero en algún momento podremos leer, ver una entrevista o conocer a algún experto que especifique cómo se realiza la certificación de una aeronave. Estos momentos en los que los sistemas abstractos exponen sus garantías en forma de rostros humanos se denominan puntos de acceso. Los rostros humanos que certifican las garantías se denominan sistemas expertos.

Sobre la importancia de los sistemas abstractos, Giddens escribe:

«... la naturaleza de las instituciones modernas está profundamente ligada al mecanismo de la confianza en los sistemas abstractos, especialmente la confianza en los sistemas expertos. En condiciones de modernidad, el futuro siempre está abierto, no solo en términos de la contingencia común de las cosas, sino en términos de la reflexividad del conocimiento en relación con el cual se organizan las prácticas sociales. Este carácter contrafactual y orientado hacia el futuro de la modernidad está ampliamente estructurado por la confianza depositada en los sistemas abstractos, que por su propia naturaleza se filtra a través de la fiabilidad de la pericia establecida» (Giddens 2004, pág. 76).

La sociedad del riesgo se caracteriza como resultado del proceso de modernización reflexiva (Beck, Giddens y Lash, 1994), en el que las acciones humanas sobre el medio ambiente, social y no social, regresan en forma de efectos secundarios latentes.

De este modo, podemos afirmar que dos transformaciones fundamentales están afectando la vida de las personas, ambas relacionadas con la creciente influencia de la ciencia

y la tecnología, aunque no completamente determinadas por ellas: el fin de la naturaleza y el fin de la tradición. Es decir, la naturaleza ya no puede considerarse una instancia externa a la sociedad y una fuente de amenaza, sino que forma parte de la tríada del mundo actual: Naturaleza-Sociedad-Tecnociencia. Además, su existencia está tan amenazada como la nuestra. La segunda transformación se refiere al hecho de que el pasado ya no es una fuente segura de conocimiento para orientar nuestras acciones en el presente. Es decir, la tradición que desempeñó un papel fundamental en las organizaciones sociales desde los tiempos más remotos de los agrupamientos humanos pierde su eficacia como garante de la seguridad en el mundo. Esto se debe a que, a medida que la sociedad fabrica sus propios riesgos, existe un enorme grado de incertidumbre que surge de situaciones nunca antes vividas o imaginadas.

La exposición anterior pretendía mostrar cómo la sociedad actual ha sido modificada por el uso intensivo y extensivo de la ciencia y la tecnología y cómo esta ha modificado el mundo, convirtiéndolo en el lugar de la incertidumbre y los riesgos fabricados. La educación en general y la educación científica en particular deben ser capaces de preparar a los futuros ciudadanos para enfrentarse a este nuevo mundo. En general, hoy en día no se puede llevar a cabo ningún proceso de evaluación y toma de decisiones sin tener en cuenta la incertidumbre que acompaña a cada acción en un mundo reflexivo.

3. EDUCACIÓN CIENTÍFICA EN CONTEXTOS DE RIESGOS FABRICADOS

En los últimos 25 años, el tema del riesgo ha pasado a formar parte de las preocupaciones de los educadores científicos (Levinson, et al 2012). En el informe Nuffield 2000 sobre la educación científica en las escuelas, Millar y Osborne (1998) hacían recomendaciones sobre los ideales básicos de la ciencia y el riesgo:

Al considerar algunas cuestiones actuales relacionadas con la aplicación de la ciencia, los alumnos deben... comprender los conceptos de probabilidad y riesgo; ser conscientes de la variedad de factores que pueden influir en la disposición de las personas a aceptar riesgos específicos... (p. 2022).

En la década de 2000, Jenkins hizo un llamamiento para que se incluyera la capacidad de evaluar riesgos como un cambio de paradigma necesario en la educación científica (Jenkins 2000). La evaluación de riesgos es una demanda actual y los estudiantes deben ser capaces de utilizar la ciencia como apoyo para ello. La evaluación de riesgos es una exigencia actual de la sociedad y, por lo tanto, los estudiantes deben ser capaces de utilizar la ciencia como apoyo para ello. Los riesgos, como lugares de incertidumbre y complejidad, son un medio para que los estudiantes incorporen la ciencia a sus vidas.

Kolstø (2001), al estudiar los dilemas sociocientíficos, muestra que los estudiantes cuestionan las fuentes de evaluación de riesgos en general sobre la base de una relación de confianza en relación con la posición de interés de los científicos. Afirma además que el análisis de los estudiantes se basa débilmente en la comprensión que tienen del conocimiento científico o en la comprensión de los problemas al realizar evaluaciones de riesgos. Levinson y colaboradores (2012) abordan la toma de decisiones en

situaciones problemáticas que implican una situación ficticia descrita como el dilema de Débora, que implica los riesgos asociados a una intervención quirúrgica. Las parejas de profesores deben lidiar con la complejidad de las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, y decidir si realizar o no una cirugía, justificando su decisión.

En relación con la posibilidad de tratar el tema del riesgo en la educación básica, una serie de trabajos han realizado investigaciones sobre el riesgo y las formas de toma de decisiones por parte de los alumnos (Kolstø 2001).

Sin embargo, para Christensen aún queda mucho por investigar sobre las formas en que los estudiantes entienden los riesgos o el papel que estos desempeñan en la toma de decisiones sobre cuestiones contemporáneas en las clases de ciencias (2009, p. 212). Para ella, muchos de los trabajos sobre el riesgo aún lo consideraban desde una perspectiva externalista, centrándose en las amenazas naturales y los desastres.

Para Schenk, Hamza, et al (2019), el gran desafío para la educación científica reside en la complejidad y la propia doble naturaleza del riesgo, que se presenta con un carácter objetivo (conocimiento técnico) y subjetivo (envuelto en valores). Al abordar cuestiones o temas basados en el riesgo, hay que tener en cuenta que se trata de asuntos muy complejos, que implican un gran número de variables que influyen directa o indirectamente en el problema. Hansen y Hammann (2017) afirman que, en la educación científica escolar, se debe evitar presentar temas relacionados con el riesgo como relaciones causales simples, que involucran una o pocas variables, ya que el contexto del mundo real es mucho más complejo que eso. Algunas cuestionan la fiabilidad y seguridad del conocimiento científico, ya que en la sociedad del riesgo la confianza no proviene solo de la autoridad, sino de la capacidad de ajustar la percepción al contexto multidimensional en el que se inscribe la situación (Christensen, 2009).

Schenk, Hamza, et al. (op. cit.) desarrollan un modelo para relacionar las características subjetivas y objetivas del riesgo. Proponen una concepción multidimensional de los riesgos, reconociendo las estrechas relaciones entre el riesgo y la toma de decisiones. Su modelo incluye la «actividad» como base de los problemas de riesgo, caracterizada por acciones humanas que conducen al riesgo, pero también por actitudes para inhibirlo; los «valores» y los «conocimientos» figuran en el mismo nicho epistémico, interactuando y otorgando características subjetivas al riesgo, el primero, y características objetivas, el segundo. A pesar de la paridad entre el conocimiento y los valores, estos pueden tener un peso diferente en la evaluación del riesgo, teniendo en cuenta la «incertidumbre», la «probabilidad», la «gravedad» y la «consecuencia».

La resolución de problemas siempre ha sido la base de la enseñanza de las ciencias y funciona como motor de la enseñanza y el aprendizaje, ya que el aprendizaje se vuelve más eficiente cuando se trabaja en la resolución de contextos problemáticos del mundo real (Dewey 1916; Wong y Pugh 2001). La importancia de la resolución de problemas sigue siendo válida para la enseñanza de las ciencias desde la perspectiva de una sociedad de riesgo.

La resolución de problemas también constituye una de las bases para el desarrollo de los ciudadanos contemporáneos

en la sociedad del riesgo, ya que ayuda a desarrollar competencias esenciales en el uso del conocimiento.

Sin embargo, los problemas de riesgo que estamos discutiendo aquí son diferentes de los tradicionales o «ejemplares» (Kuhn 1970, epílogo). Los ejemplares de Kuhn son problemas producidos para materializar algún aspecto pragmático de una teoría. Tienen alguna solución estándar, acordada por las comunidades científicas.

En este sentido, durante la formación de un científico, se espera que se discutan problemas solucionables, ya que han sido previamente validados por la comunidad científica. Así, los ejemplares funcionan como una forma de mantener la propia «ciencia normal». Las situaciones ejemplares de la ciencia normal son problemas ya conocidos, que permiten ciertas soluciones y, por lo tanto, para la perspectiva de riesgo que estamos presentando, fallan.

Los ejemplos pueden considerarse problemas falsos, en el sentido original de Pólya (1945), ya que asumen principalmente la existencia de soluciones consensuadas a priori y la cuestión que hay que resolver es cómo hacer que los alumnos accedan a esas soluciones. Al llevar este razonamiento a la enseñanza de las ciencias en la escuela primaria, los alumnos se exponen a «ejemplos compartidos» de contextos de problemas.

El aprendizaje se basa entonces en el bagaje conceptual previo, definido por la tradición científica, asumiendo que los alumnos llegarían a soluciones similares para problemas similares. Este proceso también presupone que la matriz de racionalidad de los alumnos puede transponerse de un contexto a otro (Abrantes, 1998).

Así, el riesgo y la incertidumbre modifican completamente la base epistemológica, ontológica y axiológica de la educación científica, exigiendo nuevos contenidos, nuevas metodologías y nuevas competencias que deben aprenderse. Ya es posible constatar la presencia de la temática del riesgo en algunos planes de estudios de algunos países. En Estados Unidos, el Programa de Educación Científica para la Comprensión Pública (SEPUP, 2018), dirigido a alumnos de 6 a 12 años, incluye un módulo sobre la toma de decisiones que trata de la percepción del riesgo y la probabilidad. En Inglaterra, el Currículo Nacional para Inglaterra (England 2014) cuenta con unidades de aprendizaje sobre la evaluación de riesgos. En Australia, la Autoridad Australiana de Currículo, Evaluación e Informes (Australian Curriculum, 2014) propone actividades para evaluar los riesgos y la seguridad. También en Inglaterra, en una asignatura obligatoria para estudiantes de 15 a 16 años, llamada Core Science, el riesgo se incluyó como una de las seis ideas sobre ciencia en el currículo de ciencias del siglo XXI (Millar, 2006).

Sin embargo, estos países parecen ser la excepción. La gran mayoría de los planes de estudios de ciencias están muy lejos de incorporar aspectos de riesgo entre sus temas (Christensen, 2009, Pietrocola et al., 2025).

En los documentos curriculares mencionados anteriormente, aunque representan una tendencia minoritaria, prácticamente no se menciona nada sobre los riesgos generados por las propias tecnologías en los términos mencionados por Beck y Giddens. Y, por lo general, los riesgos están relacionados con los peligros naturales y no

con el desarrollo científico y tecnológico. En cierto modo, los planes de estudios incorporan una forma de abordar el papel de los riesgos en la formación científica de los futuros ciudadanos muy desfasada en relación con lo que serían, en realidad, las emergencias que hacen que los riesgos sean tan importantes como para estudiarlos (Pietrocola y Souza, 2019).

4. DETERMINISMO Y LA ILUSIÓN DEL CONTROL

Una consecuencia importante de la introducción del riesgo como un aspecto inherente a la organización del mundo contemporáneo se refiere a la capacidad de controlar y definir el futuro. La forma en que una sociedad concibe la causalidad, la libertad y el tiempo pasa a ser fundamental en la construcción del imaginario de los individuos y ya no es solo un detalle abstracto: sustenta la forma en que evaluamos el futuro, atribuimos responsabilidad a las acciones y alimentamos la expectativa de que la realidad puede ser conducida por la planificación y el control (Giddens, 1990, 1991).

El filósofo William James formuló lo que se conoció como el «dilema del determinismo». En una versión retomada por Karl Popper en *El universo inacabado*, el dilema se expone como la tensión entre la causalidad universal y el libre albedrío:

«Todo evento es causado por un evento que lo precede, de modo que se podría predecir o explicar cualquier evento... Por otro lado, el sentido común atribuye a las personas sanas y adultas la capacidad de elegir libremente entre varias vías de acción distintas...» (James, 1897/1956; Popper, 1982).

Esta formulación pone de manifiesto que la disputa no es solo metafísica, sino también antropológica y política: la creencia en leyes causales inviolables tiende a favorecer la idea de que la historia tiene una dirección cognoscible y administrable por especialistas; por el contrario, la experiencia ordinaria de deliberar, elegir y responder por las consecuencias presupone cierto grado de apertura del futuro (Giddens, 1990). Al adherirnos culturalmente a uno de estos polos, definimos el estatus del futuro (Levrini, Tasquier, Branchetti y Barelli, 2019). Si el universo es estrictamente determinista, el mañana estaría inscrito en el hoy, y la libertad tendería a reinterpretarse como una apariencia psicológica producida por nuestra ignorancia. Si, por el contrario, la libertad es real, el futuro se revela como un campo de posibilidades, construido continuamente por acciones individuales y decisiones colectivas. La forma en que los individuos y las sociedades se proyectan en el tiempo está, por lo tanto, profundamente moldeada por esta creencia, consciente o no.

Antes de que la física solidificara una visión del mundo ampliamente determinista, la propia concepción humana del tiempo recorrió un largo camino histórico-cultural. La modernidad, sin embargo, estabilizó una relación específica con la temporalidad al asociarla con una narrativa de avance: el pasado, el presente y el futuro pasan a organizarse en una línea orientada, en la que el mañana puede ser mejor que el hoy (Koselleck, 2004). Cuando esta temporalidad se combina con la aceleración social y tecnológica, el futuro aparece menos como un campo de posibilidades en disputa y más como un territorio que debe anticiparse, administrarse y optimizarse, lo que refuerza la demanda de previsiones,

indicadores e intervenciones rápidas (Rosa, 2003; Giddens, 1990). La ciencia no solo describe el mundo: alimenta un imaginario de calculabilidad, en el que la incertidumbre tiende a percibirse como un fallo provisional.

Este horizonte alcanzó su máxima expresión en el ideal del «demonio de Laplace». La hipótesis, formulada a principios del siglo XIX, afirma que una inteligencia capaz de conocer íntegramente las posiciones, los movimientos y las leyes que rigen cada partícula del universo en un momento dado podría reconstruir todo el pasado y predecir todo el futuro (Laplace, 1814/1951). Los estudios histórico-filosóficos muestran cómo esta imagen sintetiza, en un lenguaje accesible, un ideal de inteligibilidad total asociado al proyecto de la física clásica, aunque las bases y el alcance de este determinismo son objeto de debate (van Strien, 2014).

Este horizonte se consolidó como un imaginario cultural de previsibilidad basado, por un lado, en la física clásica y, por otro, en la interpretación de que, en principio, el futuro estaría contenido en las condiciones presentes. La simetría temporal de gran parte de las leyes fundamentales contribuyó a la idea de que las ecuaciones no distinguen, en el nivel formal, entre pasado y futuro, mientras que la «flecha del tiempo» surge de condiciones y procesos específicos (Price, 1996; Zeh, 2007).

Esta concepción científica del tiempo no se limitó a los laboratorios. Se extendió y moldeó las prácticas de gobierno, economía y organización social, sustentando la promesa de que el futuro, aunque desconocido, sería esencialmente calculable. En este contexto, los problemas colectivos complejos se traducen a menudo en problemas de gestión, y la autoridad tiende a desplazarse hacia sistemas expertos y acuerdos tecnocráticos de toma de decisiones (Giddens, 1990; Jasanoff, 2003).

Sin embargo, la propia experiencia moderna revela fisuras en esta promesa. En sistemas no lineales, pequeñas variaciones en las condiciones iniciales pueden producir trayectorias radicalmente divergentes, lo que limita la previsibilidad a largo plazo incluso cuando los modelos son deterministas (Lorenz, 1963; Levrini, O., y Fantini, P., 2013). Además, las intervenciones tecnocientíficas generan efectos secundarios y consecuencias no intencionadas que se acumulan fuera del campo de visión inmediato, reconfigurando el problema a lo largo del tiempo (Beck, 1992).

Hay, además, un elemento decisivo cuando el objeto del conocimiento implica prácticas sociales reflexivas: los indicadores, las previsiones y las métricas alteran los comportamientos, los mercados y las políticas, haciendo que el conocimiento actúe sobre el propio sistema que pretende describir (Giddens, 1990; Espeland y Sauder, 2007). Así, la noción de control suele sobrevivir como ideal normativo — y como fuente de seguridad ontológica — incluso cuando el mundo que se pretende controlar es, de hecho, abierto, contingente y en transformación (Giddens, 1991).

Es en este punto donde el debate sobre el determinismo dialoga directamente con la sociedad del riesgo. La tecnociencia amplía la capacidad de intervenir y, al mismo tiempo, la capacidad de producir riesgos de nuevo orden: amenazas invisibles, distribuidas en el tiempo y el espacio, globales y difícilmente atribuibles a una única causa, a

menudo reconocidas solo cuando sus efectos ya se manifiestan (Beck, 1992; Beck, Giddens y Lash, 1994). En este escenario, insistir en que el futuro es plenamente controlable puede posponer decisiones prudentes en nombre de la espera de certezas que no llegarán, oscurecer controversias y reforzar las dependencias de los sistemas expertos, desplazando las responsabilidades a instancias que prometen, pero no pueden garantizar, la eliminación del riesgo (Wynne, 1992; Jasanoff, 2003).

Reconocer los límites del determinismo, por lo tanto, no significa abandonar la racionalidad científica, sino desplazar su papel: del ideal de previsión y dominio a la construcción de orientaciones provisionales, revisables y socialmente sólidas. Este cambio se aproxima a la noción de ciencia posnormal, para la cual «los hechos son inciertos, los valores están en disputa, las apuestas son altas y las decisiones son urgentes», lo que exige una mayor participación y la explicitación de los supuestos (Funtowicz y Ravetz, 1993).

Para la educación científica, las implicaciones son directas: se trata de formar no solo competencias conceptuales, sino también disposiciones para lidiar con la incertidumbre, comprender los límites de los modelos, explicitar valores y deliberar colectivamente sobre los riesgos y los futuros posibles (Pietrocola, Schnorr y Rodrigues, 2025; Rosenberg et al., 2022). Perspectivas como el «pensamiento prospectivo» refuerzan la idea de que la agencia responsable depende de aprender a actuar con conocimiento provisional, considerando múltiples temporalidades y consecuencias distribuidas (Laherto y Rasa, 2022). En campos como los riesgos ambientales y los desastres, las propuestas de alfabetización sobre riesgos también destacan la necesidad de ir más allá de las «soluciones tecnológicas» y cultivar formas de aprendizaje más lentas y reflexivas, capaces de sustentar decisiones en condiciones de incertidumbre (Park, 2025).

5. CONSIDERACIONES FINALES

La naturaleza con la que la humanidad aprendió a lidiar y a conocer desde los albores de su existencia ya no existe. En algún momento de los últimos 70 años, la humanidad dejó de preocuparse por lo que la naturaleza podría hacerle y pasó a preocuparse más por lo que se había hecho con la naturaleza. El punto que enfatiza Beck es que vivimos en una sociedad de riesgo, que surge en el período de la posguerra en una etapa de modernidad reflexiva. Somos una sociedad que vive la posnaturaleza, reflejo de la tecnociencia que ha transformado la naturaleza en tecnonaturaleza. En este tipo de modernidad, las preocupaciones centrales de la sociedad pasan del desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías a la gestión de los riesgos asociados a las tecnologías ya existentes. En la sociedad del riesgo, la percepción del riesgo tiene un impacto fundamentalmente transformador. En momentos pasados de la historia, el riesgo era evidente, sin duda los desastres naturales ponían a prueba constantemente a las comunidades a lo largo y a lo ancho del globo. En este sentido, Beck nos ayuda a comprender que las instituciones sociales se ven desestabilizadas por el riesgo de la responsabilidad humana. De este modo, la esencia del riesgo

se ha modificado por completo en la actualidad, especialmente en los ámbitos ecológico, político y cultural. En este nuevo orden social, queda claro que, aunque el uso coloquial puede crear una zona de superposición semántica entre peligro y riesgo, estos conceptos pertenecen a mundos muy diferentes. De este modo, podemos afirmar que dos transformaciones fundamentales están afectando a la vida de las personas, ambas relacionadas con la creciente influencia de la ciencia y la tecnología, aunque no completamente determinadas por ellas: el fin de la naturaleza y el fin de la tradición.

En cierto modo, la educación científica sigue vinculada a una perspectiva del mundo antigua. Entendemos que educar desde la perspectiva de una sociedad de riesgo implica cambios de orden epistemológico y ontológico en relación con el conocimiento científico que se enseña, ya que el saber y el no saber se superponen y se ven mediados en cada momento por sistemas abstractos que nos resultan translúcidos. También exige un cambio de perspectiva axiológica, ya que no debemos esperar del conocimiento orientaciones ciertas y seguras sobre cómo actuar individual y socialmente, dado que la incertidumbre es la marca de la contemporaneidad. En gran parte de los retos a los que se enfrentan los individuos, lo máximo que podemos esperar son predicciones más o menos precisas sobre escenarios futuros y una predisposición a revisar el conocimiento y rectificar las decisiones a medida que el desarrollo de los hechos aporte nuevas evidencias. Por lo tanto, conocer los factores relacionados con la percepción del riesgo puede permitir comprender cómo se comportan y actúan los individuos ante situaciones inciertas. Este punto es relevante, ya que tales acciones, en general, están detrás de la toma de decisiones. Amenazas como la pandemia de COVID-19 y el cambio climático son buenos ejemplos para comprender cómo la percepción del riesgo puede afectar el comportamiento de los individuos y las actitudes relacionadas con ellos.

En un trabajo de 2021, Pietrocola y sus colaboradores desarrollan una matriz para comprender la percepción del riesgo y los factores importantes que la modulan. La matriz se estructuró en tres ejes: «acceso», «alcance» y «urgencia». El acceso se asocia con el pensamiento racional respaldado por la cognición científica. La urgencia se asocia con la jerarquía de valores individuales y compartidos en una cultura determinada. El alcance se asocia con la capacidad de establecer evaluaciones sobre los impactos, siendo esta dimensión fuertemente mediada por la información. Juntos, «indican» el alcance de la percepción del riesgo asociado a la situación en cuestión. La distancia a los ejes informa sobre la «ubicación» en términos locales-globales.

Las tres dimensiones podrían entenderse como coordenadas en un «espacio de percepción», que podría utilizarse con alumnos o grupos de alumnos para comprender la ampliación de la percepción del riesgo en un determinado contexto (Silva, 2023). La posición del individuo o grupo de individuos en el espacio de percepción del riesgo sería, por un lado, un indicador de la capacidad desarrollada y, por otro, de la necesidad de invertir en el desarrollo de esta capacidad.

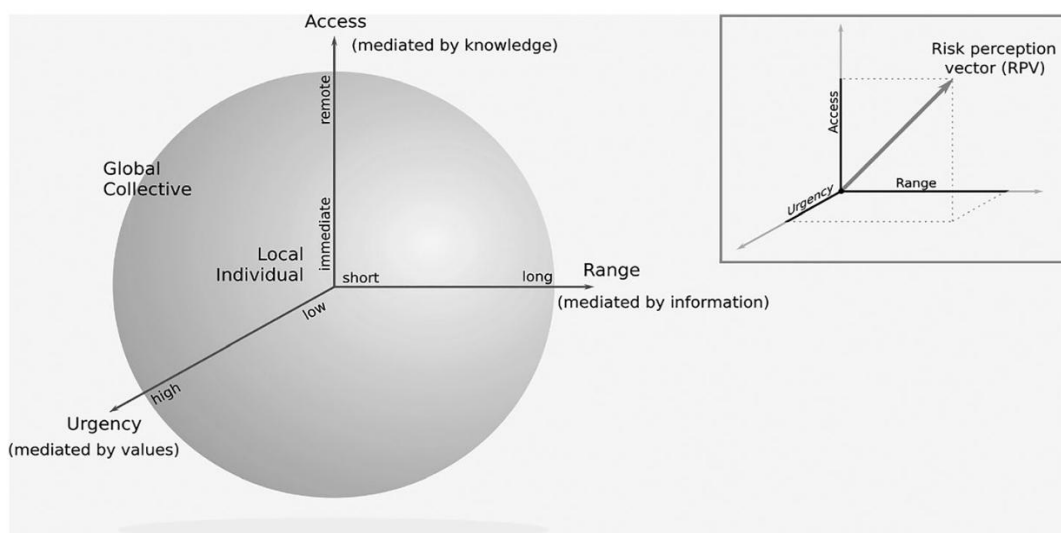


Figura 1. Matriz de percepción ampliada del riesgo. Fuente: Pietrocola et al. 2020, página 222

Los ejes no son independientes, por lo que se trata de una abstracción que tiene como objetivo ofrecer una métrica capaz de posicionar la percepción del riesgo en relación con el alcance de la percepción del riesgo. Para el ejercicio de una ciudadanía adecuada a la modernidad reflexiva, las regiones más externas del espacio de percepciones serían más deseables que las más internas. Así, el objetivo de la educación científica sería ampliar la percepción

La capacidad de percibir las situaciones de riesgo de manera amplia es determinante para el éxito o el fracaso a la hora de afrontar situaciones de amenaza. Y depende de: la conciencia del conocimiento científico disponible o ausente; la consideración de los impactos del riesgo en las diversas dimensiones de la vida individual y colectiva; la evaluación de la información ofrecida por los agentes públicos y las decisiones que estos toman. Así pues, se observa que la percepción del riesgo y la consiguiente toma de decisiones que se deriva de ella requieren mucho más que un bagaje de contenidos científicos predeterminados y un sentido común inmediato de los efectos e impactos derivados de las situaciones de riesgo. Esto implica ampliar el enfoque de análisis que sustenta la percepción del riesgo, a fin de desarrollar la posibilidad de que los alumnos produzcan evaluaciones de alcance limitado o ampliado. Ante esto, es esencial reforzar la idea de que los riesgos, en especial los que resultan de la modernidad reflexiva, deben ser debatidos y racionalizados explícitamente, ya que incorporan perspectivas epistemológicas, psicológicas, sociológicas, culturales y pedagógicas. Y no hay un entorno más apropiado para ello que las escuelas. Los estudiantes deben ser educados para reconocer los riesgos generados por la tecnociencia con el fin de poder tomar decisiones bien informadas. Entendemos que lo expuesto anteriormente exige ampliar el concepto de educación en ciencias, sobre todo en el desarrollo de un proyecto educativo que sea coherente con la sociedad actual y con una actuación más cercana a los problemas contemporáneos.

Superar la ilusión determinista (Levrini, Pietrocola y Erduran, 2024) es un paso intelectual y cultural crucial para adaptar la racionalidad científica y la formación ciudadana a los retos de la sociedad del riesgo. Se trata de reconocer que la complejidad, la contingencia y la incertidumbre no

son fallos que deban eliminarse, sino características intrínsecas del mundo en el que vivimos y actuamos.

En este nuevo contexto, la función de la racionalidad científica se desplaza. Su papel deja de ser el ideal de «predicción y dominio» para convertirse en la «construcción de orientaciones provisionales, revisables y socialmente sólidas». Este cambio no debilita la ciencia; al contrario, la adapta a un escenario de incertidumbres irreductibles y decisiones de alto riesgo. Es en este escenario donde las nociones de ciencia posnormal y deliberación ampliada cobran protagonismo, preparando el terreno para una ciencia más adecuada a los retos contemporáneos.

Las implicaciones de esta reorientación para la educación científica son directas y profundas, y delinean una nueva misión para la enseñanza de las ciencias en el siglo XXI. La formación ciudadana debe incluir ahora un conjunto ampliado de competencias y disposiciones:

Desarrollar competencias conceptuales tradicionales, que siguen siendo la base del conocimiento científico.

Formar disposiciones para lidiar con la incertidumbre de manera productiva, entendiéndola no como un déficit, sino como una condición para la acción responsable.

Capacitar a los ciudadanos para que expresen los valores que inevitablemente subyacen a las decisiones tecnocientíficas, superando la falsa neutralidad técnica.

Promover la capacidad de deliberar colectivamente sobre los riesgos y los futuros posibles, fortaleciendo la participación democrática en temas complejos.

En resumen, la educación científica para una sociedad de riesgo debe ir mucho más allá de ejercitar el conocimiento en la resolución de problemas típicos de perfil determinista. Su nueva y más urgente tarea es preparar a los ciudadanos para participar de manera crítica, reflexiva y responsable en la construcción de un mundo donde el futuro no está dado, sino que debe ser negociado de manera continua y colectiva en medio de la incertidumbre.

6. REFERENCIAS

- Abrantes, P. (1998). Kuhn y la noción de ejemplar. *Principia: revista internacional de epistemología*, 2(1), 61–102.
- Autoridad Australiana de Currículo, Evaluación e Informes. (2014). *El currículo australiano*. <https://www.australiancurriculum.edu.au/Home>. Consultado el 15 de diciembre de 2025.
- Beck, U. (1992). *La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad* (M. Ritter, trad.). Sage. (Obra original publicada en 1986).
- Beck, U. (1996). ¿La sociedad mundial del riesgo como sociedad cosmopolita? Cuestiones ecológicas en un marco de incertidumbres fabricadas. *Theory, Culture & Society*, 13(4), 1–32.
- Beck, U., Blok, A., Tyfield, D. y 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., y Lash, S. (1994). *Modernización reflexiva: política, tradición y estética en el orden social moderno*. Stanford University Press.
- Bernardo, S., Vasconcelos, M. L., y Rocha, F. (2025). Progreso de los ODS y bienestar en la UE. ¿Somos más felices? *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, 1796. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-06064-4>
- Inglaterra. (2014). *El plan de estudios nacional en Inglaterra*. Departamento de Educación. <https://assets.publishing.service.gov.uk/government>. Consultado el 15 de abril de 2025.
- Espeland, W. N. y 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., y Ravetz, J. R. (1993). Ciencia para la era posnormal. *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). La educación científica en la era de la desinformación. *Frontiers in Education*, 10. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1615769>
- Giddens, A. (1990). *Las consecuencias de la modernidad*. Polity Press.
- Giddens, A. (1991). *Modernidad e identidad propia: el yo y la sociedad en la era posmoderna*. Polity Press.
- Giddens, A. (1991). *Modernidad e identidad propia: el yo y la sociedad en la era posmoderna*. Stanford University Press.
- Giddens, A. y Pierson, C. (1998). *Conversaciones con Anthony Giddens: Entender la modernidad*. Stanford University Press.
- Hansen, J. y Hammann, M. (2017). El riesgo en la enseñanza de las ciencias. *Ciencia y Educación*, 26, 749–775. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9923-1>
- Cámara de los Lores (2000). *Ciencia y tecnología: tercer informe*, Publicaciones del Comité de Ciencia y Tecnología. Londres: Cámara de los Lores.
- Ianni, A. M. Z. Choque antropológico. *Sociologías* 14, 364–380 (2012).
- James, W. (1897/1956). El dilema del determinismo. En *La voluntad de creer y otros ensayos de filosofía popular* (pp. 145–183). Dover Publications.
- Jasanoff, S. (2003). Tecnologías de la humildad: participación ciudadana en la gobernanza de la ciencia. *Minerva*, 41(3), 223–244. <https://doi.org/10.1023/A:1025557512320>
- Koselleck, R. (2004). *Futuros pasados: sobre la semántica del tiempo histórico* (K. Tribe, trad.). Columbia University Press.
- Laherto, A., y Rasa, T. (2022). Facilitar la educación científica transformadora a través del pensamiento prospectivo. *On the Horizon*, 30(2), 96–103. [https://doi.org/10.1108/OTH-09-2021-0114]
- Laplace, P.-S. (1814/1951). *Ensayo filosófico sobre las probabilidades* (F. W. Truscott y F. L. Emory, trad.). Dover Publications.
- Levrini, O., Pietrocola, M. y 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., y Fantini, P. (2013). Encuentro con formas productivas de complejidad en el aprendizaje de la física moderna. *Ciencia y Educación*, 22(8), 1895–1910. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9587-4>
- Levrini, O., Tasquier, G., Branchetti, L., y 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). Flujo determinista no periódico. *Revista de Ciencias Atmosféricas*, 20(2), 130–141. [https://doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020]
- Mendelson, D. (2010). Términos y pensadores fundamentales. En A. Elliot (Ed.), *The Routledge companion to social theory*. Londres: Routledge.
- Millar, R. (2006). Ciencia del siglo XXI: reflexiones sobre el diseño y la implementación de un enfoque de alfabetización científica en la enseñanza de las ciencias en la escuela. *Revista Internacional de Educación Científica*, 28(13), 1499–1521. <https://doi.org/10.1080/09500690600718344> (Manual SEPUP de la Universidad de Oxford).
- SEPUP (2018). Toma de decisiones, probabilidad y evaluación de riesgos. *Programa de Educación Científica para la Comprensión Pública* <https://sepuplhs.org/middle/modules/decision/index.html>. Consultado el 17 de abril de 2025.

- Silva, L. do N. (2023). *Educación científica y sociedad del riesgo: un estudio exploratorio sobre la percepción del riesgo en torno a la pandemia de COVID-19* [Tesis de maestría, Universidad de São Paulo]. Biblioteca Digital de Tesis y Disertaciones de la 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%20do%20Nascimento%20Silva.pdf)
- Park, W. (2025). Educación STEM para una alfabetización transformadora sobre riesgos: de las soluciones tecnológicas al aprendizaje lento. *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., y Nichols, M. D. (2025). Recuperar la autoridad científica en un panorama posverdad. *Publicaciones*, 13(4), 65. <https://doi.org/10.3390/publications13040065>
- Pietrocola, M., Rodrigues, E., Bercot, F., y 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., y Rodrigues, E. (2025). La educación científica en una sociedad del riesgo: abordar los retos y oportunidades en un futuro incierto. *Investigación en Educación Científica*, 55(4), 941-960. <https://doi.org/10.1007/s11165-025-10238-0>
- Popper, K. R. (1982). *El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo*. Rowman & Littlefield.
- Price, H. (1996). *La flecha del tiempo y el punto de Arquímedes: nuevas direcciones para la física del tiempo*. Oxford University Press.
- Rosa, H. (2003). Aceleración social: consecuencias éticas y políticas de una sociedad desincronizada y de alta velocidad. *Constellations*, 10(1), 3–33. <https://doi.org/10.1111/1467-8675.00309>
- Rosenberg, J. M., Kubsch, M., Wagenmakers, E.-J., y Dogucu, M. (2022). Entender la incertidumbre en la clase de ciencias: un enfoque bayesiano. *Ciencia y Educación*, 31(5), 1239-1262. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00341-3>
- Schenk, P., Van Gorp, A., y Boone, W. (2019). Alfabetización científica en contexto: examen de la educación científica y sus implicaciones sociales. *Estudios culturales de la educación científica*, 14(3), 721-732.
- Schöngart, S., Nicholls, Z., Hoffmann, R., et al. (2025). Los grupos de altos ingresos contribuyen de manera desproporcionada a los fenómenos climáticos extremos en todo el mundo. *Nature Climate Change*, 15, 627-633. <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02325-x>
- Snowden, D., y Boone, M. E. (2007). Un marco para la toma de decisiones de los líderes. *Harvard Business Review*, 85(11), 68-76.
- Sørensen, M. P. (2018). Ulrich Beck: exploración y cuestionamiento del riesgo. *Revista de Investigación sobre Riesgos*, 21(1), 6-16. <https://doi.org/10.1080/13669877.2017.1359204> (La crisis de la gobernanza: ¿ha llegado el momento de un nuevo enfoque?).
- Toulmin, S. (1990). *Cosmopolis: La agenda oculta de la modernidad*. Free Press.
- van Strien, M. (2014). Sobre los orígenes y fundamentos del determinismo laplaciano. *Estudios de Historia y Filosofía de la Ciencia, Parte A*, 45(1), 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2013.11.005>
- Van Beurden, E., y Kia, A. (2018). Problemas complejos y cambio climático: replanteamiento del complejo problema del cambio climático como un complejo problema de integración. *Revista de Ética Empresarial*, 152(1), 83-101.
- White, P. J., Ferguson, J. P., O'Connor Smith, N., y O'Shea Carre, H. (2022). Huelguistas escolares que promueven políticas para la justicia climática: atreverse a pensar de manera diferente sobre la educación. *Revista Australiana de Educación Ambiental*, 38(1), 26-39. <http://doi.org/10.1017/aec.2021.24>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2019). *Un mundo en riesgo: Informe anual sobre la preparación mundial para emergencias sanitarias*. Organización Mundial de la Salud.
- Wynne, B. (1992). Malentendidos incomprensidos: identidades sociales y aceptación pública de la ciencia. *Comprensión pública de la ciencia*, 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* (5.ª ed.). Springer.
- Zeidler, D. L., Applebaum, S. M. y Sadler, T. D. (2011). Enacting a socioscientific issues classroom: Transformative transformations. En 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