

Chapter 4 / Capítulo 4



The Surnames of Education
ISBN: 978-9915-9928-4-6
DOI: 10.62486/978-9915-9928-4-6.Ch04
Pages: 105-138

© 2026 The authors. This is an open access
book chapter distributed under the terms of
the Creative Commons Attribution (CC BY)
4.0 License.

Environmental Education: Understanding Systems, Distributing Responsibilities and Learning to Act in Territories under Pressure

Educación ambiental: Comprender sistemas, distribuir responsabilidades y aprender a actuar en territorios bajo presión

Verenice Sánchez Castillo ¹  

¹ Universidad de la Amazonia. Florencia, Colombia.

ABSTRACT

Contemporary environmental education requires recognizing that ecological problems do not depend only on individual behavior, but on systems linking infrastructure, production, consumption, regulation, territory, and inequality. This chapter analyzes environmental literacy from a socioecological perspective and proposes moving from general awareness messages toward capacities for reconstructing causes, scales of responsibility, and realistic possibilities for action. It examines systems thinking, the gap between environmental values and behavior, the interpretation of environmental evidence, and the relationship between knowledge, habits, and material conditions. Climate change provides a framework for addressing uncertainty, projections, risk, and intergenerational responsibility, distinguishing what education can influence from what requires institutional and policy change. Cases such as Deepwater Horizon, Dieselgate, and Lisama 158 show how environmental harm is connected with chains of decision, prevention, measurement, communication, and response. The chapter also incorporates biodiversity, local and Indigenous knowledge, environmental justice, and the unequal distribution of benefits and risks. Climate anxiety, participation, and the need to evaluate learning without attributing system-level environmental outcomes to a single educational intervention are discussed. The final proposal is to teach environmental issues through real problems using criteria of evidence, proportionality, reversibility, and follow-up. Environmental education is therefore understood as preparation for living within complex systems: understanding interdependencies, recognizing the limits of individual action, distributing responsibilities, and designing responses that connect ecological knowledge, justice, and institutional capacity. This perspective makes it possible to evaluate proposals without confusing awareness with environmental transformation or assigning individuals obligations beyond their effective capacity to intervene.

Keywords: environmental education; socioecological systems; climate change; environmental justice; responsibility

RESUMEN

La educación ambiental contemporánea requiere comprender que los problemas ecológicos no dependen únicamente de conductas individuales, sino de sistemas que articulan infraestructura, producción, consumo, regulación, territorio y desigualdad. Este capítulo analiza la alfabetización ambiental desde una perspectiva socioecológica y propone pasar de mensajes generales de concienciación a capacidades para reconstruir causas, escalas de responsabilidad y posibilidades reales de acción. Se examinan el pensamiento sistémico, la brecha entre valores y conducta, la interpretación de evidencia ambiental y la relación entre conocimiento, hábitos y condiciones materiales. El cambio climático permite abordar incertidumbre, proyecciones, riesgo y responsabilidad intergeneracional, diferenciando lo que puede cambiar mediante educación de aquello que requiere transformaciones institucionales y políticas. Casos como Deepwater Horizon, Dieselgate y Lisama 158 muestran cómo los daños ambientales se relacionan con cadenas de decisión, prevención, medición, comunicación y respuesta. El capítulo incorpora biodiversidad, conocimientos locales e indígenas, justicia ambiental y distribución desigual de beneficios y riesgos. También discute la ansiedad climática, la participación y la necesidad de evaluar aprendizajes sin atribuir a una intervención educativa impactos ambientales que dependen de múltiples factores externos. La propuesta final plantea enseñar ambiente mediante problemas reales, con criterios de evidencia, proporcionalidad, reversibilidad y seguimiento. La educación ambiental se concibe así como formación para habitar sistemas complejos: comprender interdependencias, reconocer límites de la acción individual, distribuir responsabilidades y diseñar respuestas que articulen conocimiento ecológico, justicia y capacidad institucional. Esta perspectiva permite evaluar propuestas sin confundir sensibilización con transformación ambiental y sin asignar a las personas obligaciones que exceden su capacidad efectiva de intervención.

Palabras clave: educación ambiental; sistemas socioecológicos; cambio climático; justicia ambiental; responsabilidad

INTRODUCCIÓN. HABITAR UN PLANETA NO ES LO MISMO QUE ESTUDIAR EL AMBIENTE

Durante décadas, la educación ambiental se asoció con imágenes familiares: sembrar un árbol, separar residuos, ahorrar agua, proteger especies y evitar arrojar basura. Estas prácticas conservan valor, pero resultan insuficientes para comprender problemas ambientales cuya escala atraviesa cadenas productivas, infraestructura, mercados, regulación, cultura y desigualdad. Una persona puede reciclar de forma disciplinada y vivir en una ciudad diseñada alrededor de largas distancias y combustibles fósiles; puede valorar un río y depender de una economía local que presiona su cuenca; puede conocer los riesgos del calentamiento y carecer de alternativas asequibles para modificar su movilidad. La educación ambiental contemporánea comienza cuando deja de preguntar únicamente qué debe hacer el individuo y empieza a reconstruir el sistema en el que esa conducta adquiere sentido.

La revisión de Portus et al. (2024) sobre la brecha entre valores y acción confirma una dificultad que el campo conoce desde hace décadas: información, preocupación y conducta no forman una cadena automática. Kollmuss y Agyeman (2002) habían mostrado que hábitos, infraestructura, normas sociales, costos, percepción de eficacia y contexto interrumpen la relación entre conciencia y acción. Gifford (2011) describió múltiples “dragones de la inacción” psicológicos y sociales. El problema educativo, por tanto, no consiste en aumentar culpa ni repetir mensajes. Consiste en desarrollar capacidad para identificar barreras, distinguir escalas de responsabilidad y construir acciones proporcionales.

Este giro no elimina el conocimiento ecológico. Al contrario, exige más precisión. Los problemas ambientales combinan procesos biofísicos con decisiones humanas, y una comprensión deficiente de cualquiera de las dos dimensiones empobrece la respuesta. El marco de límites planetarios de Rockström et al. (2009), actualizado por Richardson et al. (2023), propone observar procesos críticos del sistema Tierra de manera interdependiente. El informe de síntesis del IPCC (2023) integra evidencia sobre cambio climático, impactos, adaptación y mitigación; la evaluación global de IPBES (2019) hace algo semejante para biodiversidad y servicios ecosistémicos. Estos marcos no son currículos, pero ayudan a mostrar que clima, agua, uso del suelo, biodiversidad y contaminación no son acápites aislados de una enciclopedia.

Pensar ambientalmente implica entonces aprender relaciones. Meadows (2008) explica que los sistemas poseen retroalimentaciones, demoras, acumulaciones y comportamientos que no se deducen de observar una pieza por separado. Ostrom (2009) propone un marco para analizar sistemas socioecológicos donde usuarios, recursos, instituciones y contextos interactúan. Esta mirada resulta pedagógicamente potente porque desplaza el ambiente desde la “naturaleza exterior” hacia la forma en que sociedades producen, distribuyen y regulan su relación con ecosistemas. El estudiante deja de estudiar un bosque solo como conjunto de especies y puede preguntar quién lo usa, bajo qué reglas, qué beneficios genera y qué efectos produce cada decisión.

El cambio climático intensifica esta necesidad porque introduce escalas temporales poco intuitivas. Parte de los efectos de decisiones presentes se acumula durante décadas; quienes asumen los mayores riesgos no siempre son quienes obtuvieron los mayores beneficios; y muchas respuestas exigen coordinación entre hogares, organizaciones, gobiernos y empresas. El IPCC (2023) documenta de manera robusta que los impactos y capacidades de adaptación se distribuyen de forma desigual. Enseñar esta desigualdad no obliga a prescribir una política específica. Obliga a reconocer que la sostenibilidad contiene preguntas de justicia, capacidad y responsabilidad.

La educación ambiental también necesita una teoría del cambio más realista. Hungerford y Volk (1990) cuestionaron modelos lineales donde el conocimiento produciría conducta por sí solo. Jensen y Schnack (1997) propusieron la competencia para la acción como alternativa a una pedagogía que dice a los estudiantes qué comportamiento es correcto. Chen y Liu (2020) revisan esta tradición y destacan capacidades para comprender problemas, imaginar opciones, deliberar y participar. La educación deja de buscar obediencia ambiental y comienza a formar agencia informada.

Esta concepción también modifica la institución educativa. Holst (2023) muestra que los enfoques de institución completa integran currículo, operaciones, gobernanza, comunidad y aprendizaje organizacional. Una escuela que enseña reducción de residuos mientras sus compras y contratos permanecen desconectados del tema transmite dos currículos: uno declarado y otro vivido. La coherencia no exige convertir el centro educativo en organización ambiental perfecta. Exige hacer visibles decisiones, limitaciones, datos y procesos de mejora para que la institución pueda convertirse en objeto de investigación.

El territorio añade otra capa. Las relaciones con agua, suelo, bosques, animales y clima están mediadas por cultura, memoria, subsistencia y poder. Los conocimientos científicos aportan métodos y explicaciones indispensables; los conocimientos locales e indígenas aportan observaciones, prácticas y marcos producidos por convivencia prolongada con territorios. Berkes (2012) y el informe regional de UNESCOOREALC (2019) ayudan a comprender esta pluralidad. Reconocerla no significa tratar toda afirmación como equivalente. Significa preguntar qué tipo de conocimiento se está utilizando, qué evidencia lo sostiene y qué pregunta puede responder.

La historia moderna de la preocupación ambiental ayuda a entender por qué el campo educativo se ha ampliado. *Silent Spring*, de Rachel Carson (1962), convirtió los efectos de pesticidas persistentes en un problema público al conectar toxicología, cadenas alimentarias, agricultura y regulación. La obra no inauguró por sí sola el ambientalismo contemporáneo, pero mostró una forma de argumentación que sigue siendo educativa: observar un producto aparentemente útil dentro de una red de consecuencias. El pesticida deja de ser una herramienta aislada y se vuelve parte de un sistema donde especies, alimentos, salud y decisiones empresariales interactúan. Ese modo de pensar anticipa uno de los hilos centrales de este capítulo.

Las décadas posteriores añadieron otros lenguajes. La conservación se encontró con la ecología de sistemas, la justicia ambiental, el desarrollo sostenible y, más tarde, los límites planetarios. Sauvé (2005) muestra que esta expansión produjo corrientes pedagógicas distintas y a veces contradictorias. Algunas enfatizan contacto con naturaleza; otras resolución de problemas, crítica social o ecoformación. La diversidad no constituye una debilidad del campo. Refleja que “ambiente” puede significar naturaleza, recurso, problema, territorio, sistema o relación. El desafío del educador es evitar que esa riqueza se convierta en dispersión.

Morin (1999) ofrece un punto de apoyo cuando propone enseñar la condición compleja del conocimiento. Los problemas ambientales son un ejemplo privilegiado: separar disciplinas facilita estudiar mecanismos, pero resolver problemas exige volver a conectarlas. Un derrame necesita química para comprender hidrocarburos, ecología para analizar efectos, derecho para establecer obligaciones, economía para evaluar pérdidas y ciencias sociales para entender respuestas comunitarias. La interdisciplinariedad adquiere sentido cuando el problema obliga a cruzar fronteras, no cuando varias asignaturas se juxtaponen sin integración.

La educación ambiental profunda se ubica precisamente en ese movimiento entre análisis y recomposición. Desarma el problema para entender piezas y luego reconstruye relaciones. Esta habilidad será necesaria en los acápites 4.2 a 4.6: frente al clima, la industria, la biodiversidad, la justicia o la escuela misma.

La evolución del campo también puede leerse como un desplazamiento desde enseñar “sobre” el ambiente hacia aprender “en”, “para” y “con” el ambiente. Estas fórmulas han sido usadas de manera diversa en la literatura, pero permiten distinguir funciones. Aprender sobre el ambiente enfatiza conceptos y procesos; aprender en el ambiente aprovecha la experiencia situada; aprender para el ambiente incorpora acción; aprender con el ambiente reconoce que el territorio y sus actores participan en la producción de conocimiento. Ninguna modalidad sustituye a las demás. Un proyecto robusto puede combinarlas según el problema.

Dewey (1916) aporta una idea pedagógica que atraviesa esta combinación: la experiencia educativa necesita continuidad e interacción. Una visita a un humedal puede ser intensa y poco formativa si no se conecta con preguntas previas ni reflexión posterior. Una simulación puede ser abstracta y, aun así, muy educativa si permite reconstruir un mecanismo que luego se observa en campo. La experiencia no se define por estar físicamente fuera del aula, sino por la relación entre acción, pensamiento y consecuencias.

Wals (2011) describe el aprendizaje para la sostenibilidad como proceso social donde incertidumbre y pluralidad obligan a aprender juntos. Esta perspectiva resulta especialmente adecuada para problemas ambientales porque ninguna disciplina ni actor posee por sí solo toda la información relevante. La escuela puede organizar espacios donde expertos, comunidades y estudiantes construyan preguntas comunes sin exigir que desaparezcan desacuerdos. La sostenibilidad se vuelve proceso de aprendizaje colectivo antes que paquete de respuestas.

El National Research Council (2012), desde la educación científica, insiste en prácticas como modelar, argumentar con evidencia y analizar datos. Estas prácticas fortalecen la educación ambiental cuando se integran con deliberación y contexto. El estudiante no solo aprende qué es un ciclo del carbono; utiliza modelos para explicar por qué una intervención podría alterar flujos y qué evidencia necesitaría para verificarlo. La práctica científica se conecta con decisión.

Esta convergencia entre experiencia, ciencia y acción evita una división frecuente: pensar que la educación ambiental es “valórica” y la ciencia es “objetiva”. Los valores influyen en qué problemas importan y qué riesgos se consideran aceptables; la ciencia informa qué consecuencias

son plausibles. Separar ambas dimensiones para analizarlas y volver a integrarlas en la decisión es una competencia central del campo.

El capítulo 4 se organiza en seis acápites. El 4.1 desarrolla pensamiento sistémico, alfabetización ambiental y brecha valor-acción. El 4.2 examina cambio climático, riesgo, esperanza y responsabilidad intergeneracional. El 4.3 utiliza Deepwater Horizon, Dieselgate y Lisama 158 para estudiar prevención, medición, información y responsabilidad organizacional. El 4.4 aborda biodiversidad, saberes territoriales y justicia ambiental. El 4.5 relaciona competencia para la acción, instituciones y evaluación. El 4.6 convierte estos fundamentos en problemas educativos, una aplicación ilustrativa y criterios para revisar decisiones. El recorrido propone aprender a comprender sistemas y actuar con responsabilidad dentro de ellos.

4.1. PENSAR AMBIENTALMENTE ES PENSAR EN SISTEMAS

De los objetos naturales a las relaciones socioecológicas

Un río, una ciudad o una cadena alimentaria no pueden comprenderse sumando partes aisladas. La educación ambiental adquiere profundidad cuando enseña a reconstruir relaciones, retroalimentaciones y responsabilidades.

DEL PAISAJE AL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO

La tradición de educación ambiental ha incluido múltiples corrientes. Sauvé (2005) muestra que existen aproximaciones naturalistas, conservacionistas, sistémicas, científicas, humanistas, críticas y comunitarias, entre otras. Esta diversidad impide hablar de una pedagogía ambiental única. Un problema de biodiversidad puede requerir observación ecológica; un conflicto por agua necesita además análisis institucional; un proyecto de residuos implica flujos materiales, comportamiento y economía. La pregunta pedagógica no es qué metodología debe usarse siempre, sino qué combinación permite comprender el problema específico.

Orr (1992) propuso la alfabetización ecológica como una reorientación de la relación entre conocimiento y mundo. Su argumento conserva fuerza porque cuestiona una educación capaz de producir especialistas técnicamente competentes que no comprendan consecuencias sistémicas de sus decisiones. Sterling (2001) extiende esta crítica al sistema educativo y propone pensar sostenibilidad como transformación del aprendizaje y no como tema agregado. Ambos autores pertenecen a tradiciones normativas específicas, pero ofrecen una alerta común: añadir contenidos verdes a una estructura educativa intacta puede cambiar menos de lo que parece.

El pensamiento sistémico ofrece un lenguaje operativo para superar esa superficialidad. Meadows (2008) distingue acumulaciones, flujos, retroalimentaciones y demoras. Una ciudad puede reducir emisiones de una fuente y aumentar otras mediante efectos indirectos; una política de ahorro de agua puede perder eficacia si incentiva nuevos usos; una tecnología más eficiente puede abaratar el consumo y generar un efecto rebote. La educación ambiental necesita enseñar que una intervención produce respuestas del sistema y que las consecuencias importantes pueden aparecer lejos del punto inicial.

Ostrom (2009) muestra que los sistemas socioecológicos combinan recursos, unidades de recurso, usuarios y sistemas de gobernanza. Esta estructura permite analizar una cuenca, una pesquería o un bosque sin reducirlos a biología. Las reglas de acceso, la información disponible, los incentivos y la confianza influyen en resultados ecológicos. El ambiente se vuelve un problema de relaciones entre ecosistemas e instituciones.

La noción de límites planetarios introduce otra escala. Rockström et al. (2009) propusieron un espacio operativo seguro para la humanidad basado en procesos del sistema Tierra. Richardson et al. (2023) actualizaron el marco y estimaron que seis de nueve límites estaban transgredidos. El valor educativo del modelo no está en memorizar colores de un diagrama; reside en comprender que alterar clima, ciclos biogeoquímicos, agua, uso del suelo o integridad de la biosfera produce interacciones que no pueden gestionarse como problemas independientes.

El marco planetario necesita complementarse con escalas regionales y locales. Un límite global no indica por sí solo qué política debería adoptar un municipio ni cómo se distribuyen impactos. La educación debe enseñar a descender de escala sin perder relaciones. Un estudiante puede vincular fertilizantes de una zona agrícola con calidad de agua, economía rural y ciclos de nitrógeno; puede analizar cómo una decisión local participa en procesos mayores sin atribuir a una comunidad responsabilidad por todo el sistema planetario.

Esta lectura sistémica también protege frente al catastrofismo pedagógico. Presentar una lista creciente de crisis puede producir saturación. Reconstruir mecanismos permite pasar del miedo a la comprensión: qué procesos impulsan el cambio, qué actores tienen capacidad de intervención, qué acciones son directas y cuáles requieren coordinación. La agencia comienza cuando el problema se vuelve inteligible.

Los sistemas socioecológicos también pueden analizarse mediante la idea de resiliencia. Aunque el concepto se utiliza de formas distintas, su intuición básica es preguntar cómo un sistema absorbe perturbaciones y conserva funciones relevantes. Una cuenca puede soportar determinadas variaciones y deteriorarse cuando múltiples presiones se acumulan; una comunidad puede enfrentar un evento extremo de manera muy distinta según infraestructura y redes. La resiliencia evita pensar sostenibilidad únicamente como reducción de impactos promedio. Introduce capacidad de respuesta frente a eventos no previstos.

Los servicios ecosistémicos agregan otra perspectiva. El Millennium Ecosystem Assessment (2005) organizó beneficios de los ecosistemas en categorías de provisión, regulación, culturales y de soporte. Su lenguaje permitió conectar degradación ecológica con bienestar humano. En educación, puede ayudar a mostrar por qué un humedal no es “terreno vacío”: retiene agua, ofrece hábitat, participa en ciclos y puede tener significado cultural. El riesgo aparece cuando el concepto se convierte en un catálogo de beneficios monetizables. La naturaleza puede tener valores que no dependen de su utilidad inmediata.

La economía circular intenta intervenir sobre flujos materiales mediante estrategias de reducción, reutilización, reparación y recirculación. Kirchherr et al. (2017), al analizar 114 definiciones, encontraron gran diversidad y una tendencia a enfatizar prosperidad económica y calidad ambiental con menor presencia de equidad social. Geissdoerfer et al. (2017) discuten la circularidad como paradigma relacionado, pero no idéntico, a sostenibilidad. Estas diferencias son pedagógicamente útiles porque muestran que un concepto popular necesita límites claros. Un producto reciclable no es necesariamente sostenible si su extracción, transporte o consumo energético generan otros impactos.

UNEP (2023), en su informe sobre contaminación por plásticos, propone combinar reducción de usos problemáticos, reutilización, reciclaje y rediseño de mercados. Este enfoque ilustra una intervención sistémica: el problema no se resuelve pidiendo a cada persona que recicle más si el volumen de producción, la composición de materiales y los sistemas de recolección permanecen iguales. La conducta individual se inserta dentro de diseño de producto, infraestructura y regulación.

La educación puede usar una botella plástica como objeto de investigación. En lugar de preguntar únicamente dónde debe depositarse, el estudiante reconstruye origen del polímero, proceso productivo, transporte, vida útil, posibilidades reales de reciclaje y destino. Luego compara alternativas y sus compensaciones. El objeto cotidiano se convierte en mapa de un sistema global.

Este tipo de análisis evita el falso dilema entre comportamiento y estructura. La estructura condiciona opciones, pero las decisiones agregadas también modifican mercados y normas. La pregunta útil es qué mecanismos conectan ambos niveles y cuál intervención tiene mayor efecto bajo las condiciones observadas.

LA BRECHA VALOR-ACCIÓN: POR QUÉ SABER Y PREOCUPARSE NO BASTA

La intuición de que más información produce mejores conductas ha acompañado muchas campañas ambientales. Hungerford y Volk (1990) ya cuestionaban ese supuesto y proponían variables como conocimiento profundo de problemas, habilidades de acción y locus de control. Kollmuss y Agyeman (2002) sintetizaron barreras internas y externas que explican por qué la preocupación ambiental no se traduce siempre en conducta. Portus et al. (2024) actualizan el debate y subrayan la importancia de currículo, aprendizaje intergeneracional, acción colectiva y enfoques institucionales.

La brecha puede entenderse con un ejemplo sencillo. Una persona sabe que desplazarse en automóvil genera emisiones y desea reducirlas. Si su ciudad carece de transporte público seguro y eficiente, la conducta disponible no coincide con el valor. Otro individuo puede tener alternativas y conservar el automóvil por hábito, tiempo o comodidad. Ambos muestran una brecha entre preocupación y acción, pero los mecanismos son distintos. Una pedagogía que responde a los dos casos con el mismo mensaje moral pierde capacidad explicativa.

Ajzen (1991), desde la teoría del comportamiento planificado, distingue actitudes, normas subjetivas y control percibido. Aunque el modelo no fue creado específicamente para

sostenibilidad, ayuda a pensar por qué una intención depende de la percepción de capacidad. Bamberg y Möser (2007) encontraron, mediante metaanálisis, que variables psicosociales como normas, control, responsabilidad y emociones contribuyen a explicar conductas proambientales. Stern (2000) propone a su vez diferenciar tipos de conducta ambiental y factores que los condicionan. El mensaje común es que “comportamiento ambiental” no es una sola cosa.

Gifford (2011) utiliza la metáfora de los dragones de la inacción para agrupar barreras psicológicas: cognición limitada, ideologías, comparación social, costos percibidos, desconfianza y hábitos. La metáfora resulta pedagógicamente útil siempre que no se convierta en explicación total. Muchas barreras no están dentro de la mente. Precio, diseño urbano, contratos e infraestructura pueden ser más determinantes que una actitud. La educación ambiental necesita conectar psicología con estructura.

White et al. (2019) sintetizan investigación sobre cambio de comportamiento sostenible mediante el marco SHIFT: influencia social, formación de hábitos, identidad, sentimientos y cognición, y tangibilidad. Esta literatura ayuda a diseñar intervenciones más realistas, pero también muestra un límite: modificar elecciones del consumidor no sustituye cambios en sistemas productivos. La responsabilidad debe asignarse según capacidad de decisión.

El error opuesto consiste en concluir que la conducta individual carece de relevancia porque los sistemas son grandes. Las acciones personales pueden tener efectos directos, influir en normas sociales y producir señales de demanda; además, algunas decisiones acumulan impactos significativos. La clave es proporcionalidad. La educación debería ayudar a distinguir dónde una acción individual es eficaz, dónde necesita coordinación y dónde el cambio depende principalmente de instituciones.

La brecha valor-acción es, por tanto, un problema de diagnóstico. En vez de preguntar por qué “la gente no hace lo correcto”, conviene preguntar qué barreras, incentivos, capacidades y normas organizan la situación. Este cambio de lenguaje reduce moralismo y abre espacio para diseñar respuestas específicas.

La brecha valor-acción tiene además una dimensión temporal. Muchas conductas sostenibles exigen asumir un costo inmediato para obtener un beneficio difuso o futuro. Aislar una vivienda, cambiar un equipo, aprender una nueva ruta o reparar un objeto puede requerir dinero y esfuerzo hoy. Las personas descuentan el futuro y responden a señales cercanas. Ajzen (1991) permite incorporar intención y control percibido; Stern (2000) distingue factores actitudinales, contextuales y capacidades personales. La conducta aparece como resultado de múltiples condiciones, no como prueba directa de compromiso moral.

Las normas sociales pueden impulsar o frenar cambios. Bamberg y Möser (2007) encuentran que componentes normativos y de control contribuyen a explicar conducta. White et al. (2019) sistematizan la influencia social como uno de los mecanismos de cambio. Un campus donde nadie separa residuos comunica una norma distinta de uno donde la práctica es visible y fácil. El diseño del entorno enseña tanto como un cartel.

Los hábitos merecen atención porque reducen deliberación. Una persona puede no decidir cada mañana qué medio de transporte utilizar; repite una rutina asociada con horarios y trayectos. Modificar el hábito exige alterar señales o contexto, no solo aumentar información. La educación puede investigar qué conductas están automatizadas y qué cambios ambientales las facilitarían.

La identidad también interviene. Algunas prácticas se vuelven parte de la forma en que una persona se describe: ciclista, consumidor responsable, defensor de animales, agricultor, pescador. Esta identidad puede sostener conductas y también generar resistencia si una intervención se percibe como amenaza al grupo. La educación ambiental necesita reconocer que los conflictos rara vez se resuelven únicamente con datos cuando involucran pertenencia.

El análisis de barreras puede convertirse en herramienta concreta. Ante una conducta deseada, el estudiante clasifica obstáculos en información, costo, infraestructura, hábito, norma social, confianza y competencia institucional. Luego propone intervenciones dirigidas a cada barrera. Esta práctica es más rigurosa que diseñar una campaña genérica de “concientización”.

La principal consecuencia teórica es que la educación ambiental no debe prometer control sobre variables que no controla. Puede desarrollar conocimiento, criterios y capacidad; puede facilitar experiencias; puede influir en normas escolares. Los resultados ambientales dependen además de decisiones externas. Reconocer este límite protege la credibilidad del campo.

ALFABETIZACIÓN AMBIENTAL: LEER EVIDENCIA, ESCALAS Y CONSECUENCIAS

La alfabetización ambiental puede definirse como capacidad para comprender procesos

ecológicos y sociales, evaluar información, reconocer incertidumbre y participar en decisiones. Norris y Phillips (2003) recordaron que la alfabetización científica depende de leer e interpretar. Allchin (2011) amplía la discusión hacia la comprensión de la ciencia en contexto, incluyendo fiabilidad, métodos e instituciones. Los problemas ambientales requieren esa misma competencia porque una decisión sobre clima, agua o biodiversidad suele apoyarse en evidencia incompleta y expertos de campos distintos.

Las cuestiones sociocientíficas ofrecen un puente. Zeidler et al. (2005) y Sadler y Zeidler (2005) muestran que problemas con dimensiones científicas y sociales permiten trabajar razonamiento informal, valores y argumentación. Högström et al. (2025), en una revisión sistemática, encuentran ambiente y sostenibilidad entre los temas recurrentes de enseñanza mediante asuntos sociocientíficos. Kumar et al. (2024) destacan su potencial para desarrollar alfabetización científica en contextos ambientales.

La alfabetización ambiental necesita distinguir hechos, proyecciones y decisiones. Un dato de temperatura describe; un escenario climático proyecta bajo supuestos; una política selecciona objetivos y distribuye costos. Mezclar estas categorías produce discusiones confusas. El estudiante debe aprender qué puede responder la ciencia, qué depende de modelos y qué requiere deliberación normativa.

La escala temporal es igualmente importante. Algunos cambios ocurren en horas, otros en décadas. Una restauración ecológica puede necesitar años para mostrar resultados; un contaminante persistente puede permanecer después de desaparecer su fuente. La educación que solo trabaja con actividades de efecto inmediato corre el riesgo de crear expectativas falsas sobre transformación ambiental.

La escala espacial añade otro reto. Un indicador global puede ocultar experiencias locales y una observación local puede no representar un patrón global. IPBES (2019) combina evidencia mundial sobre biodiversidad con conocimiento regional y local; esta articulación muestra cómo diferentes escalas pueden informarse sin ser intercambiables. Enseñar escalas significa aprender cuándo una generalización es legítima.

La alfabetización ambiental incluye además capacidad para reconocer conflictos de interés y calidad de fuente. El caso Volkswagen, desarrollado más adelante, muestra que datos de cumplimiento pueden ser manipulados. Las instituciones de control, la replicación y la transparencia forman parte de la infraestructura del conocimiento ambiental. La confianza razonable no descansa en una sola cifra, sino en procesos que permiten verificarla.

Pensar en sistemas, comprender barreras y leer evidencia prepara el tránsito al cambio climático. Allí todas estas capacidades convergen: mecanismos físicos, decisiones económicas, escalas temporales, desigualdad y necesidad de actuar bajo incertidumbre.

Tabla 8. Preguntas para analizar un sistema socioecológico

Pregunta sistémica	Qué obliga a observar	Error que ayuda a evitar
¿Qué entra y qué sale del sistema?	Flujos de energía, materiales, dinero e información	Analizar solo el residuo visible.
¿Qué retroalimentaciones existen?	Efectos que refuerzan o compensan una intervención	Suponer relaciones lineales.
¿Dónde están las demoras?	Tiempo entre causa, respuesta e indicador	Declarar éxito o fracaso demasiado pronto.
¿Quién puede cambiar qué?	Capacidades de personas, organizaciones y autoridades	Distribuir responsabilidad de forma desproporcionada.
¿Qué escala se está usando?	Local, regional, nacional o planetaria	Confundir un caso local con tendencia global.

Nota. Síntesis de los criterios desarrollados en este capítulo.

La alfabetización ambiental también necesita trabajar con indicadores. Huella de carbono, calidad de aire, cobertura boscosa o tasa de reciclaje son medidas construidas mediante definiciones y fronteras. Un indicador simplifica para hacer observable un proceso. Esa simplificación es necesaria y, al mismo tiempo, peligrosa si se olvida qué quedó fuera. Un porcentaje de reciclaje puede aumentar porque disminuyó el residuo total o porque cambió la clasificación; una intensidad de emisiones puede bajar mientras las emisiones absolutas suben.

El trabajo escolar con indicadores debe incluir metadatos: quién produjo la cifra, qué periodo cubre, qué unidad usa y qué método sigue. Esta disciplina es equivalente a la lectura lateral en ciudadanía digital. Una cifra sin procedencia puede parecer objetiva y ser imposible de interpretar. La educación ambiental se vuelve alfabetización de datos cuando enseña a preguntar por la arquitectura de la medición.

Las visualizaciones también necesitan lectura crítica. Elegir una escala, un color o un periodo puede modificar la impresión sin alterar los datos. Comparar dos gráficos del mismo fenómeno ayuda a mostrar cómo la representación guía atención. El objetivo no es sembrar desconfianza general, sino enseñar que toda representación es una selección.

Esta formación prepara al estudiante para el clima, donde gran parte del conocimiento público llega mediante modelos, series y escenarios. Comprender cómo leerlos reduce tanto la credulidad como el escepticismo indiscriminado.

Los límites planetarios poseen una fuerza visual considerable y, precisamente por eso, necesitan enseñarse con cuidado. El marco trabaja a escala del sistema Tierra; no ofrece umbrales de seguridad directamente aplicables a cada territorio. Un país o una ciudad no puede tomar el valor global y convertirlo sin más en una cuota local. La educación debe presentar el marco como herramienta para comprender procesos y riesgos sistémicos, no como tabla automática de decisiones. Richardson et al. (2023) subrayan esta escala global y la necesidad de interpretar transgresiones dentro de interacciones del sistema Tierra.

El concepto de “espacio operativo seguro” tampoco debería confundirse con una frontera exacta entre seguridad y colapso. Los límites incorporan incertidumbre y zonas de riesgo. Enseñar esta característica es importante porque muchos gráficos populares utilizan líneas que parecen más precisas de lo que el conocimiento permite. La alfabetización ambiental incluye comprender por qué la ciencia utiliza márgenes precautorios y cómo cambia una recomendación cuando el daño potencial es grande y la incertidumbre persiste.

La crítica de los marcos también forma parte del aprendizaje. Un indicador planetario puede describir presión biofísica y decir poco sobre cómo se distribuyen beneficios y daños. Por eso, sostenibilidad y justicia necesitan dialogar. La educación ambiental no debería presentar un modelo científico como teoría completa de sociedad. Puede utilizarlo para una parte de la pregunta y recurrir a economía, derecho, historia y conocimiento territorial para completar el análisis.

El pensamiento sistémico madura cuando el estudiante puede usar un marco y, al mismo tiempo, identificar sus límites. Esta actitud evita dos extremos: rechazar modelos porque simplifican o tratarlos como copias exactas del mundo. Todo modelo selecciona. La competencia consiste en saber qué selecciona y para qué pregunta resulta útil.

4.2. CAMBIO CLIMÁTICO, RIESGO Y RESPONSABILIDAD INTERGENERACIONAL

Aprender a pensar futuros sin confundir incertidumbre con ignorancia

El clima obliga a enseñar evidencia, escenarios y decisiones que despliegan efectos durante décadas. La educación necesita comunicar gravedad sin producir fatalismo.

LO QUE SABEMOS, LO QUE PROYECTAMOS Y LO QUE DECIDIMOS

El cambio climático ofrece una prueba exigente para la alfabetización ambiental porque combina conocimiento robusto con incertidumbre sobre magnitudes y trayectorias específicas. El IPCC (2023) sintetiza evidencia procedente de múltiples disciplinas y distingue causas observadas, impactos, riesgos futuros y opciones de respuesta. La educación debe respetar esas categorías. Decir que una proyección posee incertidumbre no equivale a afirmar que no sabemos nada; significa que conocemos rangos, supuestos y probabilidades.

Esta distinción es central para evitar dos errores pedagógicos. El primero es presentar la ciencia climática como certeza absoluta en cada detalle, lo que vuelve cualquier revisión una aparente contradicción. El segundo es utilizar incertidumbre como excusa para ignorar evidencia convergente. Allchin (2011) ayuda a enseñar que la ciencia se evalúa por procesos de producción, control y convergencia, no por la ausencia completa de incertidumbre.

Los escenarios son herramientas para pensar condiciones, no predicciones de una única historia. La pregunta “¿qué pasará?” puede reemplazarse por “¿qué podría ocurrir bajo determinadas trayectorias de emisiones, vulnerabilidad y adaptación?”. Esta forma de razonamiento enseña anticipación, una de las competencias promovidas por UNESCO (2017) en educación para el desarrollo sostenible. También acerca al estudiante a decisiones reales, donde se actúa antes de conocer el futuro con precisión.

La diferencia entre mitigación y adaptación ofrece otra estructura. Mitigar busca reducir las causas del calentamiento; adaptar busca reducir daños o aprovechar oportunidades bajo

cambios ya presentes o esperados. Una ciudad puede necesitar ambas estrategias. Presentarlas como competidoras empobrece el análisis. La educación puede utilizar matrices de opciones donde cada acción se evalúe por escala, costo, beneficio, tiempo y actores responsables.

El concepto de riesgo conecta peligro, exposición y vulnerabilidad. Dos comunidades expuestas al mismo evento pueden enfrentar consecuencias distintas por infraestructura, ingresos, salud o acceso a información. El IPCC (2023) documenta esta distribución desigual. La educación climática debería enseñar riesgo como relación y no solo como intensidad del fenómeno natural. Esta perspectiva evita atribuir desastres únicamente a la naturaleza.

La responsabilidad intergeneracional aparece porque decisiones presentes modifican oportunidades de personas que todavía no participan. Este problema no tiene una solución matemática única. Obliga a discutir descuento temporal, necesidades actuales, incertidumbre tecnológica y equidad. El valor educativo está en hacer explícito el conflicto entre horizontes y no en ofrecer una respuesta moral cerrada.

Los escenarios climáticos pueden trabajar con esa tensión: una medida costosa hoy puede reducir riesgos futuros; otra puede ofrecer beneficios inmediatos y aumentar exposición posterior. El estudiante aprende a comparar trayectorias y a reconocer que toda decisión ambiental contiene supuestos sobre quién importa, cuándo y bajo qué condiciones.

La comunicación climática enfrenta una dificultad adicional: el clima se percibe mediante experiencias locales y se describe mediante patrones de largo plazo. Un verano inusualmente frío en un lugar no refuta el calentamiento global; una ola de calor individual tampoco lo demuestra por sí sola. La educación necesita distinguir tiempo meteorológico de clima y enseñar cómo las series permiten detectar tendencias. Esta diferencia es sencilla en teoría y difícil en conversación cotidiana, donde la experiencia inmediata pesa más que el promedio estadístico.

Los modelos climáticos pueden presentarse como herramientas de exploración. El estudiante no necesita dominar ecuaciones de circulación general para comprender que un modelo representa procesos mediante supuestos y se contrasta con observaciones. Comparar modelos meteorológicos, económicos o epidemiológicos puede ayudar a entender que modelar no significa adivinar: significa construir una representación que permite explorar escenarios y revisar su desempeño.

La incertidumbre puede expresarse de formas que el público interpreta mal. Palabras como probable o muy probable tienen significados técnicos en ciertos informes. Traducirlas a lenguaje cotidiano sin perder precisión es parte de la competencia docente. El problema no se resuelve eliminando la incertidumbre del mensaje; se resuelve explicándola.

El IPCC (2023) diferencia niveles de confianza y evidencia. Utilizar fragmentos del informe para identificar cómo se comunican estas categorías puede ser una actividad avanzada de alfabetización científica. El estudiante descubre que la ciencia institucionalizada no habla con una sola voz de certeza absoluta; calibra afirmaciones.

La adaptación ofrece casos más cercanos al territorio. Sombras urbanas, drenaje, alertas tempranas, infraestructura hídrica o cambios en calendarios productivos pueden analizarse sin convertir la clase en defensa de una política específica. Se comparan costos, grupos beneficiados, horizontes y posibles efectos secundarios. La educación climática se vuelve capacidad de planificación.

La mitigación puede trabajarse de manera semejante. Una tecnología de menor emisión puede exigir minerales, suelo o inversión; una medida de eficiencia puede generar rebote; una transición puede crear empleos y desplazar otros. Enseñar estas compensaciones evita el optimismo tecnológico y el rechazo automático. El estudiante aprende a evaluar alternativas completas.

Esta forma de enseñanza también evita la polarización simplista. La evidencia climática y la elección de instrumentos pertenecen a niveles distintos de la discusión. Separarlos permite desacordar sobre políticas sin transformar el desacuerdo en negación de datos.

EDUCACIÓN CLIMÁTICA: QUÉ PUEDE CAMBIAR Y QUÉ NO DEPENDE DEL AULA

La literatura sobre educación climática ha crecido de forma sustantiva. Monroe et al. (2019) identificaron estrategias efectivas que combinan información relevante, interacción, deliberación y conexión con contextos. Aeschbach et al. (2025), mediante metaanálisis, encuentran efectos diferenciados sobre resultados educativos y muestran que diseño e intensidad importan. Estos estudios ayudan a abandonar la pregunta binaria de si la educación “funciona”. Puede mejorar conocimiento, actitudes o conductas en grados diferentes.

Evaluar esos resultados por separado evita conclusiones injustas. Un curso puede aumentar comprensión del efecto invernadero y no modificar transporte si el estudiante carece de alternativas. El aprendizaje ocurrió, pero la conducta estaba condicionada por infraestructura. De manera inversa, un cambio de comportamiento puede ocurrir por precio o regulación sin que exista comprensión. La educación y el resultado ambiental se relacionan, pero no son idénticos.

Olsson et al. (2016) mostraron que la implementación de educación para el desarrollo sostenible y la conciencia de sostenibilidad no se reducen a una dimensión única. Husamah et al. (2022) revisan competencias para la acción y resaltan componentes de pensamiento, decisión y participación. Estas investigaciones sugieren que una evaluación madura debe especificar el mecanismo que espera modificar.

La continuidad importa. Una jornada sobre clima puede sensibilizar; una secuencia sostenida permite volver a conceptos, observar datos, contrastar noticias y revisar decisiones. Holst (2023) lleva esta idea a la institución completa: el aprendizaje gana coherencia cuando currículo y prácticas organizacionales pueden observarse juntos. El estudiante no solo escucha sobre energía; puede analizar cómo la escuela consume, contrata y decide.

La formación docente es parte del problema. Zhang et al. (2025) revisan prácticas de educación ambiental escolar entre 2015 y 2024 y encuentran diversidad de métodos y vacíos. Trabajar clima exige conocimientos científicos, capacidad para gestionar controversias, alfabetización de datos y sensibilidad emocional. Pedir al docente que incorpore el tema sin tiempo o formación puede producir actividades superficiales.

La educación climática también necesita reconocer que las respuestas sociales son legítimamente debatibles. La ciencia puede estimar emisiones y riesgos; la elección entre instrumentos de política requiere además criterios económicos, distributivos y jurídicos. Una pedagogía rigurosa presenta alternativas y consecuencias sin convertir una opción política particular en respuesta evaluativa obligatoria.

Esta neutralidad no significa neutralidad frente a la evidencia. Un aula puede distinguir entre consenso científico sobre mecanismos y desacuerdo sobre políticas. Esa separación protege tanto la alfabetización científica como la autonomía ciudadana.

La responsabilidad intergeneracional puede visualizarse mediante presupuestos de carbono o decisiones de infraestructura de larga vida. Una carretera, una planta energética o un edificio puede operar durante décadas. Elegir hoy crea una trayectoria y costos de sustitución. El concepto de dependencia de senda ayuda a explicar por qué algunas decisiones presentes reducen opciones futuras. La educación ambiental puede mostrar que la libertad de una generación está conectada con decisiones heredadas.

Esta temporalidad también aparece en restauración. Un bosque plantado hoy no reemplaza inmediatamente un bosque maduro; un suelo degradado puede requerir años; una población de especie puede no recuperarse aun después de eliminar la presión. El estudiante aprende que prevención y restauración no son equivalentes. Algunas pérdidas son difíciles de revertir y otras pueden ser irreversibles en escalas humanas.

La esperanza constructiva descrita por Ojala (2012) puede apoyarse en historias de recuperación ambiental bien documentadas, siempre que se presenten con sus condiciones. El objetivo no es construir una narrativa de éxito inevitable, sino mostrar que instituciones y comunidades pueden aprender. La restauración del Golfo después de Deepwater, por ejemplo, es extensa y de largo plazo; no borra el daño, pero muestra capacidad de respuesta sostenida.

Las emociones pueden ser objeto de metacognición. Un estudiante puede identificar qué siente ante un escenario climático y cómo esa emoción afecta su interpretación. La actividad no psicologiza el problema; reconoce que la comunicación ambiental siempre interactúa con afectos. Aprender a sostener preocupación sin quedar paralizado es parte de la agencia.

Los docentes necesitan límites claros. No corresponde diagnosticar clínicamente ansiedad en el aula, pero sí crear un entorno donde la preocupación pueda expresarse y donde los problemas se acompañen de opciones de análisis y acción. Cuando una reacción excede el espacio educativo, deben existir rutas de apoyo profesional.

La educación climática responsable evita tanto el tranquilizar sin evidencia como el alarmar sin agencia. Mantiene la tensión entre gravedad y capacidad: algunos daños ya ocurren y ciertas decisiones pueden reducir riesgos futuros. Esa combinación es intelectualmente más exigente que un mensaje optimista o pesimista.

ANSIEDAD, ESPERANZA Y CAPACIDAD PARA ACTUAR

El cambio climático produce respuestas emocionales intensas, especialmente entre jóvenes. Clayton y Karazsia (2020) desarrollaron una medida de ansiedad climática que ayuda a estudiar cuándo la preocupación afecta funcionamiento. La existencia de ansiedad no implica que toda preocupación sea patológica. Sentir inquietud frente a riesgos reales puede ser una respuesta razonable. La tarea educativa consiste en impedir que la gravedad se traduzca automáticamente en impotencia.

Ojala (2012) estudió la esperanza en jóvenes frente al cambio climático y encontró que formas constructivas de esperanza se relacionaban con compromiso ambiental. La esperanza pedagógica no consiste en prometer que “todo estará bien”. Consiste en reconocer problemas y mostrar capacidades, instituciones y acciones que pueden evaluarse. Una esperanza basada en negación es frágil; una esperanza basada en agencia puede sostener participación.

El fatalismo puede aparecer cuando los problemas se presentan a escalas demasiado grandes. Si el estudiante recibe únicamente cifras planetarias y escenarios catastróficos, su capacidad individual parece irrelevante. El análisis multiescalar corrige esa sensación. Algunas acciones pertenecen al hogar, otras a la escuela, otras al municipio y otras a acuerdos nacionales e internacionales. Ubicar la escala permite identificar responsabilidad sin atribuir al individuo todo el peso del problema.

La culpa también necesita cuidado. Un enfoque centrado exclusivamente en huella individual puede ignorar diferencias de ingreso, infraestructura y oferta. White et al. (2019) muestran que los comportamientos sostenibles dependen de factores sociales y contextuales. Una educación justa evita avergonzar a quien carece de alternativas y, al mismo tiempo, mantiene la pregunta sobre decisiones que sí están disponibles.

La incertidumbre emocional puede utilizarse como contenido. Los estudiantes pueden analizar cómo una noticia comunica riesgo, qué evidencia utiliza y qué tono adopta. Comparar titulares catastrofistas, minimizadores y explicativos permite discutir cómo el lenguaje modifica percepción sin cambiar los datos. La alfabetización mediática entra así a la educación ambiental.

La capacidad para actuar se fortalece cuando las acciones tienen objetivos observables. Un proyecto de reducción de desperdicio puede medir una línea base, implementar cambios y evaluar resultados. Si no funciona, la pregunta no es quién falló moralmente, sino qué mecanismo se entendió mal. Este enfoque transforma la acción en investigación.

La educación climática requiere una ética de proporcionalidad: comunicar riesgos con precisión, reconocer incertidumbre, distinguir escalas y conectar aprendizaje con capacidades reales. Esta combinación permite sostener la preocupación sin convertirla en indiferencia ni desbordamiento emocional.

El análisis de incertidumbre y responsabilidad del acápite 4.2 prepara la lectura de los casos industriales del acápite 4.3. Allí interesa comprender cómo organizaciones, autoridades y comunidades gestionan información y riesgos, con responsabilidades distintas. El propósito es identificar mecanismos de prevención y respuesta, sin convertir el estudio en una narrativa de rechazo general a la empresa o la tecnología.

4.3. CUANDO EL DAÑO DESBORDA LA CONDUCTA INDIVIDUAL

Industria, información, regulación y responsabilidad distribuida

Muchos problemas ambientales no pueden resolverse con decisiones de consumo aisladas. Accidentes industriales, manipulación de información y fallas de control muestran por qué la educación debe analizar organizaciones y reglas.

Los riesgos ambientales industriales permiten introducir la noción de accidente normal y defensa en profundidad sin convertir el capítulo en tratado de ingeniería. Los sistemas de alto riesgo utilizan múltiples barreras porque ninguna es infalible. Mantenimiento, sensores, procedimientos, entrenamiento, supervisión y planes de contingencia se superponen. Cuando varias fallan o se vuelven dependientes, el daño puede escalar. La educación ambiental puede mapear esas barreras y preguntar cuáles son técnicas, humanas e institucionales.

Este análisis también muestra que “error humano” suele ser una explicación incompleta. Una persona opera dentro de horarios, incentivos, interfaces y normas. Atribuir un desastre al último operador puede ocultar decisiones de diseño y gestión. El estudiante aprende a investigar condiciones que hicieron probable el error. Esta forma de razonamiento es transferible a seguridad industrial, transporte y salud.

La prevención tiene un problema epistemológico: su éxito es invisible. Si una inspección evita un accidente, no hay noticia. Esto puede llevar a subvalorar mantenimiento y regulación frente a respuesta visible. La educación ambiental necesita mostrar que la ausencia de daño puede ser resultado de sistemas que funcionaron. Evaluar prevención exige indicadores diferentes de contar desastres.

DEEPWATER HORIZON: UN ACCIDENTE QUE OBLIGA A PENSAR EN CADENAS DE RIESGO

El 20 de abril de 2010, la plataforma Deepwater Horizon explotó mientras operaba sobre el pozo Macondo. Murieron once trabajadores y el derrame resultante se convirtió en el mayor vertido marino de petróleo de la historia de Estados Unidos. NOAA estima que aproximadamente 134 millones de galones de petróleo llegaron al Golfo durante 87 días y documenta impactos sobre hábitats, especies, costas y usos humanos de los recursos (NOAA, 2026). La EPA registra el proceso de enforcement y el acuerdo civil que incluyó sanciones y recursos para restauración (U.S. EPA, 2016a).

El caso es pedagógicamente valioso porque un desastre de esta magnitud no puede explicarse como consecuencia de una sola mala decisión. Involucra diseño tecnológico, procedimientos, contratistas, cultura de seguridad, regulación, preparación para contingencias y capacidad de respuesta. Meadows (2008) ayuda a leerlo como sistema de barreras que fallan y se retroalimentan. La pregunta educativa deja de ser “¿quién tuvo la culpa?” y se amplía: ¿qué decisiones, incentivos y controles permitieron que un riesgo se acumulara?

NOAA describe el daño como lesión a escala de ecosistema y utiliza evaluación de daños a recursos naturales para diseñar restauración de largo plazo. Esta respuesta enseña que los efectos ambientales no terminan cuando se detiene una fuga. Restaurar exige monitoreo, ciencia, financiamiento y decisiones durante años. La temporalidad del daño es diferente de la temporalidad de la noticia.

El caso también conecta ambiente y economía. Pesca, turismo, trabajo y protección costera dependen de ecosistemas. Hablar de “costo ambiental” como categoría separada puede ocultar esas conexiones. El deterioro ecológico se traduce en pérdidas sociales y económicas, aunque no todas puedan monetizarse fácilmente. La educación sistémica permite mostrar servicios ecosistémicos sin reducir naturaleza a precio.

La respuesta regulatoria ofrece otra lección. Las sanciones y acuerdos no reparan automáticamente todos los daños; crean obligaciones y recursos para restauración y prevención. La educación ambiental puede analizar la diferencia entre responsabilidad civil, penal, ambiental y reputacional sin convertir el caso en clase de derecho. El objetivo es comprender que los sistemas productivos operan dentro de instituciones que distribuyen incentivos y consecuencias.

Deepwater Horizon también muestra el papel de incertidumbre científica. Evaluar daño en ambientes complejos exige modelos, muestreo y comparaciones con condiciones de referencia. Los resultados pueden ser discutidos sin que ello implique ausencia de daño. Allchin (2011) ayuda a enseñar cómo se construye confianza en evaluaciones complejas: métodos explícitos, múltiples fuentes y revisión.

El caso invita finalmente a pensar prevención. Si la educación se limita a limpiar después del desastre, llega tarde. Comprender riesgos significa identificar señales, diseñar redundancias y aprender de incidentes menores. La sostenibilidad incluye capacidad de evitar daños, no solo de compensarlos.

Deepwater Horizon también permite discutir el principio de quien contamina paga. Los acuerdos financieros destinaron recursos a sanciones, daños a recursos naturales y restauración. Sin embargo, monetizar daño ambiental no significa que dinero y ecosistema sean equivalentes. El pago crea recursos para recuperación y responsabilidad; no puede garantizar que todas las pérdidas sean reversibles. Esta distinción ayuda a comprender límites de compensación.

NOAA describe una restauración a escala de ecosistema porque los impactos abarcaron hábitats y especies conectadas. El concepto de restauración sistémica contrasta con intervenciones puntuales. Una marisma, una pesquería y una población de tortugas no son proyectos independientes. La restauración necesita considerar redes ecológicas y usos humanos. El caso vuelve concreta el pensamiento sistémico desarrollado en el acápite 4.1.

La comunicación durante una emergencia también afecta confianza. Las autoridades necesitan informar con datos que pueden cambiar a medida que avanza la evaluación. Si cada actualización se interpreta como contradicción, el sistema tiene incentivos a comunicar menos. La educación puede enseñar que revisar una estimación frente a nueva evidencia es parte del

conocimiento responsable.

El aprendizaje de accidentes puede institucionalizarse mediante investigación de causas, cambios de procedimiento y seguimiento. Una organización sostenible no es la que nunca enfrenta incidentes menores, sino la que identifica señales y evita que se conviertan en catástrofes. Esta cultura de aprendizaje es aplicable también a escuelas: registrar fallas pequeñas permite mejorar sistemas antes de daños mayores.

Deepwater plantea además un dilema sobre actividades de alto beneficio y alto riesgo. La sociedad puede valorar energía y empleo y exigir controles estrictos. El análisis ambiental no necesita fingir que existe una respuesta libre de costos. Puede comparar riesgos, alternativas y capacidades de mitigación. La educación gana madurez cuando acepta que algunas decisiones exigen considerar compensaciones reales entre beneficios, riesgos y costos.

DIESELGATE: CUANDO LA MEDICIÓN AMBIENTAL SE CONVIERTE EN PARTE DEL PROBLEMA

En 2015, la EPA notificó a Volkswagen y empresas relacionadas por vehículos diésel que incorporaban software capaz de detectar condiciones de prueba y modificar el funcionamiento de controles de emisiones. La agencia informó que, en uso normal, determinados vehículos emitían óxidos de nitrógeno muy por encima de los límites regulatorios; acuerdos posteriores obligaron a compensaciones, mitigación e inversiones asociadas con vehículos de cero emisiones (U.S. EPA, 2015, 2016b). El caso se convirtió en un ejemplo global de cómo la información ambiental puede ser manipulada.

La primera lección es epistemológica. Las políticas ambientales dependen de mediciones: emisiones, concentraciones, consumo, calidad de agua, biodiversidad. Si el sistema mide solo bajo condiciones fáciles de anticipar, el indicador puede dejar de representar el comportamiento real. Goodhart popularizó en economía la idea de que cuando una medida se convierte en objetivo puede perder valor como medida; Dieselgate ofrece una versión tecnológica del problema. La educación ambiental debe enseñar a preguntar cómo se produjo el dato.

La segunda lección es institucional. Un producto puede cumplir aparentemente una prueba y fallar en condiciones reales. Los sistemas de verificación necesitan procedimientos capaces de detectar discrepancias. La regulación no es una capa externa a la tecnología; influye en cómo se diseña y controla. El caso permite discutir por qué auditorías, pruebas independientes y sanciones forman parte de la infraestructura ambiental.

La tercera lección se relaciona con comunicación. La publicidad de un producto “limpio” puede apoyarse en atributos reales o convertirse en greenwashing cuando exagera, omite o contradice desempeño. La educación ambiental debería enseñar a diferenciar certificaciones verificables, afirmaciones genéricas y métricas completas. Un color verde en un anuncio no constituye evidencia.

Geissdoerfer et al. (2017) y Kirchherr et al. (2017) muestran cómo conceptos como economía circular pueden perder precisión cuando se utilizan de forma amplia. Algo semejante ocurre con palabras como sostenible, ecológico o carbono neutral. El estudiante necesita preguntar qué indicador respalda la afirmación, qué frontera del sistema se utilizó y qué impactos quedaron fuera.

Dieselgate también conecta consumo y estructura. El comprador puede preferir un vehículo de menor impacto, pero depende de información proporcionada por fabricantes y reguladores. La responsabilidad del consumidor existe, pero tiene límites cuando la información es falsa o inaccesible. Esta asimetría explica por qué la educación ambiental no puede reducirse a “elegir bien” en el mercado.

El caso convierte la alfabetización ambiental en alfabetización de datos: medir, verificar, comparar y reconocer incentivos. El ambiente aparece como un campo donde la calidad de la información puede cambiar decisiones de millones de personas.

Dieselgate convierte también el concepto de greenwashing en un problema de evidencia. No toda afirmación ambiental exagerada constituye fraude y no todo marketing verde es falso. La educación debe distinguir categorías. Una empresa puede destacar un atributo real y omitir otros; puede utilizar lenguaje vago; puede apoyarse en certificaciones independientes; o puede manipular mediciones. Cada caso requiere diferente nivel de crítica.

El análisis de ciclo de vida ofrece una herramienta para evitar afirmaciones parciales. Un vehículo puede tener bajas emisiones de escape y una cadena de producción intensiva; un envase reciclable puede recorrer largas distancias; un material biodegradable puede necesitar

condiciones industriales específicas. La frontera del sistema determina qué impacto aparece. Enseñar a declarar esa frontera evita comparaciones engañosas.

La economía circular también puede convertirse en marketing si la circularidad se usa como sinónimo de sostenibilidad. Geissdoerfer et al. (2017) muestran que ambos conceptos se solapan, pero tienen genealogías y énfasis distintos. Kirchherr et al. (2017) encuentran que muchas definiciones de circularidad priorizan dimensiones económicas y ambientales y prestan menos atención a lo social. El estudiante debe preguntar qué “cierra el ciclo”, para quién y con qué energía.

El caso Volkswagen ilustra por qué la verificación independiente importa incluso cuando existen estándares claros. Si el sistema de prueba puede ser anticipado, aparece incentivo para optimizar el indicador en lugar del desempeño real. Esta lógica es aplicable a muchas métricas de sostenibilidad. La evaluación ambiental debe diseñarse pensando en cómo podría ser manipulada.

La reputación añade presión. Una organización que ha construido una identidad ambiental puede enfrentar fuertes incentivos para mantenerla. La cultura corporativa y los sistemas internos de denuncia son por ello parte de la sostenibilidad. La educación empresarial ambiental no debería limitarse a reportes; necesita ética de medición y gobernanza.

Desde el punto de vista ciudadano, Dieselgate enseña prudencia frente a etiquetas. El consumidor informado no puede auditar un automóvil, pero puede buscar certificaciones, sanciones y fuentes independientes. La alfabetización ambiental reconoce límites del ciudadano y justifica instituciones de control.

LISAMA 158: CONTINGENCIA, TERRITORIO Y CAPACIDAD INSTITUCIONAL EN COLOMBIA

En marzo de 2018, una contingencia asociada con el campo Lisama, en Santander, produjo emanación de crudo, agua, lodo y gas y afectó cuerpos de agua de la zona. La ANLA documentó seguimiento a dimensiones sociales, bióticas e hídricas y verificó medidas de contención. También abrió indagación y posteriormente procedimiento sancionatorio, señalando entre sus consideraciones la activación y manejo del plan de contingencia y la oportunidad de la información reportada (ANLA, 2018a, 2018b).

Lisama resulta especialmente útil para educación ambiental colombiana porque aproxima conceptos que a menudo se estudian en casos internacionales. La contingencia muestra una relación directa entre infraestructura extractiva, agua, fauna, comunidades y autoridad ambiental. El problema no existe en un laboratorio: ocurre en un territorio donde actividad económica y ecosistemas conviven bajo reglas y riesgos.

El seguimiento de la ANLA separó componentes social, biótico e hídrico. Esta clasificación puede convertirse en herramienta didáctica. Un estudiante puede reconstruir impactos por sistema, identificar datos necesarios y reconocer que las dimensiones se conectan. Un cambio en calidad del agua afecta organismos y actividades humanas; una medida de contención puede tener efectos secundarios; la comunicación de riesgo modifica confianza.

El caso también permite trabajar el principio de precaución sin convertirlo en fórmula absoluta. La ANLA suspendió de forma preventiva ciertos trámites en el área mientras evaluaba riesgos asociados con otros pozos. Pedagógicamente, la decisión abre una pregunta: ¿cuándo es razonable detener una actividad mientras se investiga? La respuesta requiere comparar probabilidad, magnitud de daño, reversibilidad e información disponible.

La información institucional constituye parte del manejo de una contingencia. La propia autoridad señaló problemas en la oportunidad de ciertos reportes. En sistemas complejos, una demora de información puede afectar respuesta. La educación ambiental necesita mostrar que comunicar no es un accesorio posterior al evento; forma parte de la gestión del riesgo.

Lisama también ayuda a evitar una lectura binaria entre desarrollo y ambiente. Una actividad productiva puede generar empleo y recursos y, al mismo tiempo, introducir riesgos. El análisis ambiental serio necesita estimar ambos lados, discutir medidas de prevención y reconocer a quienes soportan impactos. Presentar cualquier actividad como intrínsecamente “buena” o “mala” impide aprender a evaluar condiciones concretas.

Los tres casos del acápite 4.3 comparten una enseñanza. Deepwater muestra acumulación de riesgo y restauración de largo plazo; Dieselgate muestra manipulación de medición e información; Lisama muestra contingencia territorial y respuesta institucional. Ninguno puede comprenderse mediante hábitos individuales. La responsabilidad ambiental existe en múltiples niveles y requiere información, regulación, prevención y capacidad organizacional.

Tabla 9. Casos para examinar responsabilidad ambiental

Caso	Problema ambiental central	Pregunta educativa
Deepwater Horizon	Riesgo industrial y daño ecosistémico de gran escala	¿Qué barreras y controles fallaron y cómo se restaura un sistema complejo?
Volkswagen Dieselgate	Manipulación de medición y emisiones reales	¿Cómo sabemos que un indicador representa el comportamiento real?
Lisama 158	Contingencia extractiva con efectos sociales, bióticos e hídricos	¿Cómo se distribuyen prevención, información, respuesta y seguimiento en un territorio?

Nota. Síntesis de los criterios desarrollados en este capítulo.

Lisama 158 permite profundizar además en la noción de licencia social y confianza territorial. Una operación industrial puede cumplir requisitos formales y aun así enfrentar desconfianza si las comunidades perciben riesgos, comunicación insuficiente o efectos acumulados. La confianza no sustituye la licencia ambiental, pero influye en la relación entre organización y territorio. La educación puede examinarla sin asumir que percepción y riesgo técnico son equivalentes.

La respuesta a una contingencia necesita coordinación. ANLA, empresas, autoridades locales, organismos de emergencia y comunidades poseen información y competencias diferentes. El estudiante puede construir un mapa institucional y preguntar qué actor monitorea, quién ejecuta, quién comunica y quién sanciona. Este ejercicio enseña que los problemas ambientales no pertenecen a una sola entidad.

El seguimiento biótico e hídrico ilustra la necesidad de líneas base. Para determinar daño se necesita saber qué condiciones existían antes. Cuando la información previa es débil, aumenta la incertidumbre. La educación ambiental puede utilizar esta idea para mostrar por qué el monitoreo preventivo tiene valor aunque “no esté pasando nada”.

La contingencia también deja aprendizajes para comunicación científica. Durante emergencias circulan rumores e hipótesis. La autoridad debe distinguir hechos confirmados de causas aún investigadas. El aula puede comparar comunicados de diferentes fechas y observar cómo cambia el conocimiento. Esta lectura temporal enseña prudencia frente a conclusiones tempranas.

El caso colombiano ayuda finalmente a conectar sostenibilidad con memoria pública. Los eventos ambientales importantes pueden desaparecer del currículo después de la noticia. Recuperarlos años después permite preguntar qué cambió en regulación, prácticas o percepción. La educación ambiental también es aprendizaje histórico sobre cómo una sociedad responde a sus propios daños.

Los residuos plásticos muestran un problema diferente de los accidentes industriales. No existe necesariamente un evento único ni un responsable claramente visible; millones de productos y decisiones se acumulan a lo largo de cadenas. UNEP (2023) plantea que enfrentar la contaminación requiere reducción de usos problemáticos, sistemas de reutilización, reciclaje y rediseño. El caso es educativo porque muestra por qué algunos problemas necesitan intervenciones distribuidas en producción, consumo e infraestructura.

La botella que llega a un río puede haberse convertido en residuo por conducta individual, falta de recolección, diseño de envase o ausencia de mercado para material recuperado. Señalar solo a quien la arrojó explica un tramo del sistema. Señalar solo a la industria también deja fuera decisiones de uso y disposición. El análisis completo reconstruye responsabilidades diferenciadas. Esta distribución es una de las habilidades ambientales más importantes del capítulo.

La circularidad ofrece una promesa atractiva: conservar materiales en uso y reducir extracción y residuos. Sin embargo, no todos los ciclos son técnicamente posibles ni ambientalmente equivalentes. Reciclar consume energía y algunos materiales pierden calidad. Reutilizar puede requerir logística y lavado. El estudiante necesita comparar alternativas por función, no asumir que la palabra circular garantiza sostenibilidad.

Los plásticos también muestran cómo las infraestructuras definen comportamiento. Separar correctamente un material carece de efecto si la cadena posterior no lo recupera. Una institución educativa puede investigar qué ocurre después de sus canecas: quién recoge, dónde clasifica y qué materiales se comercializan realmente. Esta trazabilidad convierte un gesto cotidiano en comprensión de economía material.

La discusión sobre plásticos evita además la ilusión de pureza. Sustituir un material por otro puede desplazar impactos hacia agua, tierra, transporte o energía. Las evaluaciones de ciclo de vida intentan comparar esas transferencias, aunque dependen de fronteras y supuestos. La educación ambiental necesita enseñar a desconfiar de soluciones que solo cambian el lugar del impacto.

Al incorporar problemas difusos junto con accidentes como Deepwater o Lisama, el capítulo muestra dos arquitecturas de daño. En una, un evento concentra atención y responsabilidad; en otra, millones de decisiones pequeñas producen una presión agregada. La pedagogía debe aprender a reconocer ambas.

4.4. TERRITORIO, BIODIVERSIDAD Y JUSTICIA AMBIENTAL

Conocer un lugar también significa comprender quién depende de él

Los problemas ambientales distribuyen beneficios, costos y capacidades de manera desigual. El territorio convierte la sostenibilidad en una pregunta sobre pertenencia, subsistencia y justicia.

BIODIVERSIDAD: MÁS QUE CONTAR ESPECIES

La evaluación global de IPBES (2019) documenta cambios significativos en biodiversidad y contribuciones de la naturaleza a las personas. Su valor educativo está en mostrar que biodiversidad no es únicamente riqueza de especies. Incluye funciones ecológicas, relaciones y procesos que sostienen alimentos, agua, regulación y culturas. La pérdida de una especie puede ser localmente invisible y alterar interacciones que aparecen después.

El Millennium Ecosystem Assessment (2005) popularizó el lenguaje de servicios ecosistémicos para conectar bienestar humano y funcionamiento de ecosistemas. El concepto ayuda a reconocer beneficios que mercados suelen ignorar, como regulación hídrica o protección costera. Al mismo tiempo, la educación debe evitar reducir naturaleza a utilidad económica. Existen valores culturales, identitarios y propios de los ecosistemas que no se traducen de manera sencilla a precio.

Richardson et al. (2023) vinculan integridad de biosfera con estabilidad del sistema Tierra. Esta escala planetaria puede parecer distante del estudiante. La pedagogía territorial la vuelve concreta: polinizadores en una zona agrícola, bosque ripario en una cuenca, humedales urbanos o cobertura vegetal frente al calor. El principio es conectar función local y proceso mayor.

La biodiversidad también es información histórica. Los paisajes actuales reflejan decisiones acumuladas sobre uso del suelo, infraestructura y producción. Investigar cambios mediante fotografías, mapas o testimonios permite comprender que un ecosistema no es una fotografía “natural”, sino un sistema con historia humana y ecológica. El territorio se vuelve archivo.

La ciencia ciudadana puede ampliar esta observación. Vohland et al. (2021) muestran la diversidad de proyectos donde ciudadanos participan en producción de datos. Monitorear aves, agua o cobertura puede desarrollar habilidades y producir información útil si existe diseño adecuado. Resnik et al. (2015) recuerdan que también existen responsabilidades éticas: consentimiento, propiedad de datos, seguridad y reconocimiento.

Los proyectos de biodiversidad necesitan evitar la ilusión de que recopilar datos equivale a conservar. La información puede orientar decisiones, pero los resultados dependen de instituciones, recursos y usos del suelo. La educación debe cerrar el ciclo preguntando quién puede actuar sobre el conocimiento producido.

Esta conexión entre biodiversidad y decisión prepara el terreno para los saberes territoriales. Conocer un lugar exige combinar observación científica con experiencia de quienes viven en él, sin borrar las diferencias entre tipos de evidencia.

La biodiversidad posee además una dimensión de redundancia y función. Dos especies pueden cumplir funciones similares en determinadas condiciones y diferir bajo perturbación. Esta complejidad muestra por qué contar especies no captura todo el valor ecológico. Los ecosistemas poseen relaciones que cambian con clima, suelo y perturbación. La educación debe evitar listas taxonómicas desconectadas de procesos.

IPBES (2019) utiliza el concepto de contribuciones de la naturaleza a las personas para reconocer relaciones materiales y no materiales. Esta evolución terminológica refleja un debate: los servicios ecosistémicos pueden sonar como una visión exclusivamente utilitaria. El nuevo lenguaje intenta incorporar diversidad cultural. El estudiante puede comparar ambos marcos y discutir qué hacen visible.

La pérdida de biodiversidad también puede ocultarse mediante desplazamiento. Una ciudad consume alimentos, madera o minerales producidos lejos de su territorio; sus impactos ecológicos se externalizan. Pensar cadenas de suministro amplía el territorio educativo. La pregunta “¿de

dónde viene?" se vuelve una herramienta ambiental tan importante como "¿dónde lo boto?".

La restauración plantea otra discusión. Reforestar no equivale a restaurar automáticamente un ecosistema. La composición de especies, suelo, conectividad y uso futuro importan. Plantar muchos árboles puede ser una actividad visible y ecológicamente limitada si no responde al contexto. La educación necesita aprender a diferenciar acción simbólica de intervención informada.

La ciencia ciudadana puede contribuir a esta profundidad si los datos se integran en preguntas. Registrar aves durante una jornada produce una lista; repetir protocolos a lo largo del tiempo puede generar tendencias. La continuidad convierte observación en información. Vohland et al. (2021) muestran precisamente la diversidad de niveles de participación y diseño en ciencia ciudadana.

La biodiversidad es, finalmente, una oportunidad para unir afecto y análisis. La conexión emocional con especies o paisajes puede motivar cuidado, pero la conservación necesita entender poblaciones, hábitat y presiones. La educación no tiene que elegir entre sentir y conocer; necesita articular ambos.

CONOCIMIENTOS LOCALES E INDÍGENAS: DIÁLOGO SIN EQUIVALENCIAS AUTOMÁTICAS

Berkes (2012) utiliza el concepto de conocimiento ecológico tradicional para analizar sistemas de saber, práctica y creencia desarrollados mediante adaptación y transmisión cultural. Este conocimiento puede incluir observaciones finas de ciclos, especies y cambios ambientales. El informe de UNESCOOREALC (2019) examina el lugar de conocimientos indígenas en políticas educativas latinoamericanas y subraya el desafío de construir diálogo sin reproducir relaciones coloniales.

La educación ambiental necesita evitar dos errores. El primero es considerar conocimiento local como anécdota frente a la ciencia. El segundo es tratar toda afirmación local como equivalente a evidencia científica. Los sistemas de conocimiento pueden tener finalidades y criterios diferentes. El diálogo riguroso comienza cuando cada afirmación puede explicar cómo se aprendió, qué experiencia la sostiene y qué límites reconoce.

Un pescador puede observar cambios en temporadas, tamaño o distribución de especies a lo largo de décadas; un estudio científico puede aportar series instrumentales o mecanismos ecológicos. Ambos tipos de información pueden complementarse y también discrepar. La discrepancia no debe resolverse por jerarquía automática. Puede generar una pregunta de investigación.

La dimensión lingüística importa porque algunas categorías ecológicas no tienen traducción exacta entre lenguas. Los nombres locales pueden agrupar o distinguir especies de manera diferente a taxonomías científicas. Trabajar estas diferencias muestra que clasificar es una práctica cultural y científica a la vez. El estudiante aprende que el lenguaje organiza lo que se observa.

La reciprocidad es una condición ética. Una escuela o universidad que extrae testimonios y nunca devuelve resultados reproduce una relación instrumental. Los proyectos territoriales deberían explicar propósito, solicitar consentimiento cuando corresponda, compartir hallazgos y reconocer contribuciones. Resnik et al. (2015) ofrece criterios transferibles desde ciencia ciudadana.

El conocimiento territorial también incorpora memoria de impactos. Comunidades recuerdan inundaciones, cambios de cauce, pérdidas de bosque o transformaciones productivas. Estas memorias pueden orientar preguntas, aunque necesitan contrastarse con registros y otras fuentes. La educación ambiental encuentra aquí una oportunidad para integrar historia, geografía y ciencia.

El diálogo de saberes se convierte así en método de contraste y colaboración, no en eslogan. Su objetivo no es decidir qué conocimiento "gana", sino construir una explicación más completa y una relación más justa con quienes producen información.

Los conocimientos locales pueden contener señales tempranas que los sistemas institucionales no registran. Cambios en olores, tiempos de floración, presencia de especies o comportamiento del agua pueden motivar investigación. Su valor no depende de que cada observación sea confirmada. Funciona como hipótesis situada. La colaboración científica puede diseñar mediciones para examinarla.

La asimetría de poder aparece cuando una organización posee laboratorios, abogados y acceso a autoridades mientras una comunidad dispone de experiencia directa pero pocos recursos técnicos. El diálogo de saberes necesita reconocer esta desigualdad para que la participación no

sea meramente formal. Facilitar acceso a información y traducción técnica puede ser parte de justicia procedimental.

Berkes (2012) también muestra que los conocimientos ecológicos tradicionales están asociados con instituciones y prácticas de manejo. Separar una “información indígena” de sus reglas comunitarias puede descontextualizarla. La educación debería evitar extraer datos culturales como curiosidades y estudiar las relaciones que los sostienen.

El lenguaje de propiedad intelectual añade otro problema. Documentar conocimientos tradicionales puede exponerlos a usos no consentidos. Los proyectos escolares pequeños rara vez resolverán estas cuestiones, pero pueden aprender principios: pedir permiso, limitar divulgación sensible y reconocer autoría. La ética ambiental comienza en la forma de investigar.

La interculturalidad ambiental exige asimismo que la ciencia explique sus propios criterios. Pedir a una comunidad que justifique su saber mientras se presenta una afirmación científica como autoridad sin método crea una relación desigual. Mostrar cómo se midió, qué muestra y qué no muestra la evidencia facilita un diálogo más simétrico.

El resultado educativo no es una fusión de saberes en una sola verdad. Es capacidad para construir decisiones informadas mediante fuentes distintas, declarar desacuerdos y reconocer límites.

JUSTICIA AMBIENTAL: QUIÉN RECIBE BENEFICIOS, QUIÉN SOPORTA RIESGOS

La justicia ambiental surgió con fuerza al documentar que contaminación y riesgos no se distribuyen aleatoriamente. Bullard (1990) mostró en Estados Unidos cómo comunidades afroamericanas enfrentaban una carga desproporcionada de instalaciones contaminantes. Schlosberg (2007) amplía la justicia ambiental hacia distribución, reconocimiento y participación. Agyeman (2005) vincula sostenibilidad y justicia al plantear que una sociedad ambientalmente sostenible también debe examinar desigualdades.

Guevara-Herrero et al. (2024), en una revisión sistemática sobre prácticas educativas de justicia ambiental, muestran que la enseñanza puede abordar problemas complejos mediante análisis crítico y contextual. La pregunta educativa cambia: ya no basta con cuánto contamina una actividad; interesa quién recibe beneficios, quién soporta daños, quién es reconocido y quién participa en decisiones.

La dimensión distributiva puede trabajarse con mapas. Un municipio puede superponer fuentes de contaminación, escuelas, ingresos, acceso a áreas verdes o riesgo de inundación. El objetivo no es asumir causalidad a partir de coincidencias espaciales, sino formular preguntas. ¿Por qué ciertos grupos están más expuestos? ¿Qué historia de uso del suelo existe? ¿Qué datos adicionales hacen falta? La cartografía se convierte en herramienta de indagación.

El reconocimiento añade una capa cultural. Una comunidad puede sufrir un impacto material y, además, ver ignorada su relación con el territorio. Schlosberg (2007) muestra que la justicia incluye que identidades y formas de vida sean tomadas en serio. Esta dimensión es relevante en territorios donde ambiente y subsistencia están profundamente conectados.

La participación completa el marco. Una decisión puede distribuir beneficios de manera aparentemente justa y seguir siendo problemática si quienes soportan el riesgo nunca pudieron intervenir. La educación ciudadana desarrollada en el capítulo 3 reaparece aquí: procedimientos, información y voz forman parte de la justicia ambiental.

La justicia climática extiende estas preguntas entre regiones y generaciones. El IPCC (2023) documenta diferencias de vulnerabilidad y capacidad adaptativa. La educación puede analizar estas desigualdades sin convertirlas en una narrativa simplificada de culpables. Contribuciones históricas, recursos actuales, tecnología y exposición interactúan de formas complejas.

La justicia ambiental ofrece finalmente un criterio para evitar la moralización del consumo. Pedir a todos el mismo esfuerzo puede ser desigual si capacidades y responsabilidades son distintas. Una educación madura distribuye expectativas de forma proporcional y pregunta qué cambios necesitan coordinación e instituciones.

La justicia ambiental también puede analizarse mediante infraestructura urbana. La distribución de árboles, sombra, transporte, parques o riesgo de inundación modifica exposición ambiental. Estas decisiones se acumulan durante décadas. Un mapa actual puede reflejar historia de inversión y segregación. La educación puede combinar cartografía y archivo para evitar explicar las desigualdades como fenómenos naturales.

Bullard (1990) mostró cómo la ubicación de instalaciones contaminantes se relacionaba con raza y clase en el sur de Estados Unidos. El caso pertenece a un contexto histórico específico

y no debe trasladarse mecánicamente a América Latina. Su contribución conceptual está en formular una pregunta que sigue siendo relevante: ¿la carga ambiental se distribuye de manera sistemática entre grupos? La respuesta necesita datos locales.

Schlosberg (2007) propone una justicia que incluye distribución, reconocimiento y participación. Esta triple estructura es útil porque un problema puede mejorar en una dimensión y fallar en otra. Compensar económicamente a una comunidad no garantiza reconocimiento cultural; invitar a una consulta no corrige necesariamente una distribución desigual. La evaluación necesita mirar las tres capas.

Agyeman (2005) utiliza la idea de just sustainabilities para unir sostenibilidad y equidad. La educación puede utilizar este marco para cuestionar soluciones que mejoran un indicador ambiental trasladando costos a grupos con menor capacidad. Una ciudad más limpia que expulsa actividades contaminantes a una periferia no necesariamente resolvió el problema.

La justicia ambiental no obliga a una conclusión política única. Diferentes teorías pueden priorizar criterios distintos. El aula puede comparar distribución igualitaria, compensación, prioridad a vulnerables o participación. El aprendizaje está en hacer explícito el principio utilizado y sus consecuencias.

La dimensión intergeneracional completa la justicia porque las generaciones futuras no pueden participar directamente. Sus intereses deben representarse mediante conocimiento y normas actuales. Esta representación es imperfecta, pero obliga a justificar por qué una decisión de largo plazo considera o ignora riesgos futuros.

La justicia ambiental urbana permite observar desigualdades que no siempre se presentan como “problemas naturales”. Temperatura, ruido, contaminación atmosférica y acceso a áreas verdes varían dentro de una misma ciudad. Estas diferencias pueden correlacionarse con ingresos, historia de planificación y uso del suelo. Un ejercicio cartográfico puede identificar patrones, pero la correlación espacial no demuestra por sí sola su causa. La investigación escolar debe buscar historia y políticas antes de concluir.

En áreas rurales, la justicia adopta otras formas. Distancias a servicios, dependencia de agua local, exposición a actividades productivas y capacidad institucional pueden cambiar la vulnerabilidad. Las recomendaciones urbanas —por ejemplo, usar transporte público o acceder a puntos de reciclaje— pueden ser poco pertinentes. La educación territorial necesita construir soluciones desde las condiciones de cada lugar.

La adaptación climática ilustra esta desigualdad. Dos hogares pueden enfrentar la misma temperatura extrema y disponer de viviendas, agua, sombra y servicios muy distintos. Tratar la exposición física como único indicador oculta capacidad de respuesta. El IPCC (2023) insiste en la relación entre riesgo y vulnerabilidad. Esta estructura puede usarse para analizar múltiples peligros ambientales.

La justicia también aparece en los tiempos. Una comunidad puede recibir beneficios económicos inmediatos de una actividad y asumir riesgos que se materializan años después. Otra puede heredar contaminación producida por generaciones anteriores. La educación necesita incluir esta distribución temporal y no limitar justicia a quién recibe dinero hoy.

Los procesos de transición ambiental pueden generar ganadores y perdedores. Cerrar una actividad contaminante puede mejorar calidad ambiental y afectar empleo local. Diseñar una transición justa exige identificar esas compensaciones y acompañar cambios. El aula puede analizar escenarios sin prescribir una política única: qué grupos son afectados, qué alternativas laborales existen, qué costos son asumibles y quién financia la transformación.

La dimensión de reconocimiento impide reducir todo a compensación monetaria. Un territorio puede poseer significado religioso, cultural o histórico que no tiene sustituto equivalente. La toma de decisiones necesita reconocer estos valores aunque no puedan convertirse en una cifra. Schlosberg (2007) ofrece precisamente una concepción amplia de justicia que permite incorporar esta dimensión.

4.5. DE LA CONCIENCIA A LA CAPACIDAD DE ACTUAR

Competencia para la acción, instituciones completas y aprendizaje colectivo

La educación ambiental gana sentido cuando una preocupación puede transformarse en investigación, decisión y revisión. Actuar no significa obedecer una lista de conductas; significa comprender opciones y asumir consecuencias.

COMPETENCIA PARA LA ACCIÓN: ACTUAR SIN CONVERTIR EL AULA EN CAMPAÑA

Jensen y Schnack (1997) desarrollaron la idea de competencia para la acción como respuesta a modelos de educación ambiental centrados en modificación de conducta. La diferencia es crucial. Una pedagogía conductual define de antemano la acción correcta; una pedagogía de competencia ayuda al estudiante a comprender problemas, imaginar alternativas, decidir y evaluar. La autonomía no elimina valores ambientales, pero evita que la educación se reduzca a cumplimiento.

Chen y Liu (2020) revisan investigación sobre desarrollo de competencia para un futuro sostenible y destacan dimensiones de conocimiento, pensamiento crítico, visión, participación y experiencia de acción. Husamah et al. (2022) identifican un campo creciente de competencias de sostenibilidad. Estas revisiones muestran que actuar no es simplemente “hacer algo”. Una acción educativa necesita propósito, comprensión del mecanismo y capacidad de revisar.

Chawla y Cushing (2007) subrayan la relevancia de eficacia personal y colectiva. Una persona puede valorar intensamente un problema y no actuar si cree que su participación carece de efectos. La educación puede mejorar ese sentido de eficacia mediante experiencias de escala manejable: un diagnóstico institucional, una propuesta a una autoridad o un proyecto que permita observar resultados.

La neutralidad política vuelve a ser importante. Formar capacidad de acción no significa exigir adhesión a una campaña específica. El estudiante puede analizar alternativas de movilidad, energía o residuos y llegar a preferencias distintas si utiliza evidencia y reconoce derechos. El docente evalúa proceso, no posición.

El error inverso consiste en eliminar toda acción por miedo a la controversia. Una educación exclusivamente descriptiva puede transmitir que los problemas ambientales son objetos para mirar desde lejos. La acción educativa permite probar hipótesis, experimentar con cambios y comprender restricciones. La clave es que el problema sea proporcionado a la capacidad institucional.

La competencia incluye saber cuándo una acción individual es insuficiente. Un estudiante puede reducir residuos propios y, al mismo tiempo, identificar que el sistema de compras institucionales genera la mayor parte de desechables. Esta observación no invalida su conducta; amplía la escala. La educación forma capacidad para pasar de práctica personal a análisis organizacional.

Actuar implica documentar. Una propuesta sin línea base no puede demostrar cambio; un proyecto sin registro de decisiones no puede explicar por qué funcionó. La evaluación convierte la acción en aprendizaje y evita el activismo simbólico.

La competencia para la acción puede pensarse como una escalera que comienza con la capacidad de nombrar el problema y termina con la de revisar una intervención. En medio aparecen búsqueda de información, identificación de actores, imaginación de alternativas, deliberación y organización. Cada peldaño puede enseñarse y evaluarse. Este modelo evita reducir acción a entusiasmo.

El sentido de eficacia crece cuando el estudiante ve relación entre esfuerzo y resultado. Una propuesta que llega a directivos y recibe respuesta, aunque sea negativa, enseña más que una campaña que termina en una cartelera. La respuesta institucional muestra restricciones y abre posibilidad de iteración. Chawla y Cushing (2007) enfatizan precisamente la combinación de eficacia y oportunidades reales.

La acción colectiva también distribuye competencias. Un proyecto necesita quienes midan, comuniquen, organicen y negocien. Esta diversidad permite que la participación no dependa solo de liderazgo verbal. La educación ambiental puede reconocer distintas formas de agencia y reducir la tendencia a que siempre participen los mismos.

La dimensión ética aparece cuando la acción afecta a terceros. Cambiar horarios, restringir plásticos o intervenir un espacio genera costos y preferencias. La competencia para la acción exige consultar afectados, no solo demostrar convicción ambiental. La sostenibilidad se vuelve democrática.

La evaluación posterior necesita incluir el argumento contrario. Después de implementar una propuesta, el grupo busca evidencia de costos o efectos no previstos. Esta práctica protege frente al sesgo de confirmación y enseña que una buena causa no garantiza una buena intervención.

La acción competente es, finalmente, reversible cuando sea posible. Proyectos piloto, periodos de prueba y criterios de revisión permiten aprender antes de escalar. Esta lógica experimental conecta sostenibilidad con gestión prudente.

LA INSTITUCIÓN COMPLETA: CUANDO LA ESCUELA TAMBIÉN APRENDE

Holst (2023) revisa enfoques de institución completa y concluye que la coherencia en sostenibilidad involucra currículo, campus u operaciones, gobernanza, comunidad y aprendizaje. La idea cuestiona un patrón frecuente: pedir a estudiantes que cambien mientras las rutinas institucionales permanecen fuera del análisis. Una escuela que mide su consumo de agua, energía o residuos puede transformar esas operaciones en recursos didácticos.

UNESCO (2020a) incluye entornos educativos entre las áreas prioritarias de la hoja de ruta de educación para el desarrollo sostenible. Esta orientación no debería interpretarse como obligación de alcanzar perfección ambiental. Una institución puede tener infraestructura antigua o presupuesto limitado. El aprendizaje surge al hacer visibles restricciones y decisiones, establecer prioridades y evaluar progreso.

La compra de alimentos, materiales y equipos constituye un ejemplo. Una decisión de precio puede tener implicaciones de duración, residuos, transporte o mantenimiento. Los estudiantes pueden analizar criterios sin asumir que la opción “más verde” es siempre viable. La sostenibilidad institucional enseña a trabajar con compensaciones reales.

El manejo de residuos ofrece otro caso. Una campaña de separación fracasa si las canecas están mal ubicadas, la empresa recolectora mezcla materiales o los usuarios no entienden categorías. El problema deja de atribuirse a “falta de conciencia” y se investiga como sistema. Cambiar señalización puede ser más efectivo que repetir una charla.

La movilidad institucional muestra la importancia de la infraestructura. Promover bicicleta sin estacionamiento seguro o transporte público sin rutas adecuadas transfiere responsabilidad al individuo. Una auditoría de movilidad puede identificar qué depende de estudiantes, qué depende de la institución y qué requiere coordinación municipal.

La gobernanza cierra el enfoque. Los estudiantes pueden participar en diagnósticos y propuestas, pero necesitan saber quién decide presupuesto y operaciones. Esta trazabilidad conecta educación ambiental con ciudadanía. La institución completa es también una institución democrática cuando explica criterios y comunica avances.

Aprender institucionalmente significa conservar memoria. Cada proyecto debería registrar qué se intentó, qué funcionó, qué barreras aparecieron y qué debe cambiarse. Sin esa memoria, las escuelas repiten campañas cada año como si empezaran de cero.

La institución completa también puede trabajar con presupuestos. Una escuela tiene recursos finitos y no puede ejecutar todas las mejoras ambientales. Priorizar exige comparar ahorro esperado, costo inicial, vida útil, beneficios pedagógicos y equidad. El ejercicio convierte sostenibilidad en administración concreta y evita la fantasía de soluciones sin costo.

Las compras son un punto de entrada especialmente poderoso. Un producto barato puede durar menos; uno durable puede costar más; una alternativa local puede reducir transporte y tener otras limitaciones. El estudiante aprende a construir criterios multicriterio. La mejor opción depende de qué pesos se asignen y qué evidencia existe.

La alimentación institucional permite analizar cadenas de suministro, desperdicio y nutrición. El objetivo no es imponer una dieta, sino reconstruir impactos y decisiones. Un menú puede evaluarse por costo, aceptación, origen, residuos y requisitos nutricionales. La sostenibilidad adquiere múltiples dimensiones.

La energía ofrece mediciones claras, pero también trampas. Un descenso de consumo durante vacaciones no demuestra eficacia de una campaña. La línea base debe controlar calendario y condiciones. Esta atención al método transforma el campus en laboratorio de ciencias y de gestión.

Holst (2023) insiste en la coherencia entre múltiples dimensiones institucionales. La escuela puede usar esta idea como auditoría anual: currículo, operación, participación y relación con comunidad. El valor no está en obtener una calificación perfecta, sino en construir una agenda de aprendizaje.

La transparencia de resultados fortalece la dimensión ciudadana. Publicar avances, costos y dificultades evita campañas de imagen. Una institución que reconoce que una meta no se cumplió puede enseñar más sobre sostenibilidad que una que solo comunica éxitos.

La ciencia ciudadana puede cumplir una función intermedia entre aprendizaje y acción. Un proyecto de monitoreo permite a estudiantes producir datos que, bajo protocolos adecuados, pueden contribuir a redes mayores. Vohland et al. (2021) muestran que los proyectos varían desde contribución de datos hasta co-creación. Definir el nivel de participación evita promesas exageradas y ayuda a diseñar responsabilidades.

La calidad de datos es un contenido educativo en sí mismo. Identificar una especie, medir

turbidez o registrar temperatura requiere entrenamiento y consistencia. Comparar observadores puede mostrar error de medición. En lugar de ocultar esa variabilidad, el proyecto puede utilizarla para enseñar confiabilidad y estandarización.

Los datos ciudadanos también plantean propiedad y privacidad. Una observación de biodiversidad puede revelar ubicación de una especie sensible; un mapa ambiental puede identificar propiedades o personas. Resnik et al. (2015) proponen un marco ético para ciencia ciudadana que incluye consentimiento, riesgos y distribución de beneficios. Estas preguntas deben aparecer incluso en proyectos escolares sencillos.

La devolución es una forma de justicia epistémica. Si familias o comunidades aportan información, deberían conocer resultados. Preparar una presentación accesible obliga a los estudiantes a traducir métodos y reconocer límites. La comunicación se vuelve parte del proceso científico.

Un proyecto ciudadano puede además enseñar que más datos no siempre resuelven una disputa. Diferentes actores pueden compartir mediciones y discrepar sobre qué nivel de riesgo aceptar o qué uso priorizar. La ciencia informa la decisión; no reemplaza la deliberación. Esta distinción conecta educación ambiental con ciudadanía.

La ciencia ciudadana es valiosa cuando no se romantiza. Puede ampliar participación y producir conocimiento, pero necesita recursos, protocolos y relaciones de confianza. Enseñar esos requisitos fortalece la comprensión de cómo se construye evidencia colectiva.

EVALUAR SIN CONFUNDIR APRENDIZAJE CON IMPACTO AMBIENTAL

Ardoín et al. (2020) revisaron resultados de educación ambiental orientada a conservación y encontraron diversidad de efectos y diseños. Una conclusión importante para la práctica es distinguir resultados educativos de resultados ecológicos. Un estudiante puede aprender mucho en un proyecto cuya escala no cambia un indicador ambiental; una institución puede reducir consumo por una reparación técnica sin que haya ocurrido aprendizaje.

Aeschbach et al. (2025) refuerzan esta distinción en educación climática. Conocimiento, actitudes y comportamiento son resultados diferentes. Evaluarlos como si fueran una sola variable produce afirmaciones excesivas. Una intervención necesita declarar qué espera cambiar y en qué plazo.

La evaluación puede organizarse en cuatro niveles. El primero observa comprensión: mecanismos, datos, escalas. El segundo examina capacidad: formular preguntas, comparar alternativas, diseñar acciones. El tercero analiza práctica: qué decisiones o comportamientos cambiaron. El cuarto observa resultado ambiental: residuos, consumo, biodiversidad u otro indicador. No todos los proyectos llegarán al cuarto nivel.

Las líneas base son esenciales. Decir que “se redujo basura” carece de significado si no se sabe cuánto había antes ni cómo se midió. Esta exigencia conecta educación ambiental con alfabetización científica. Los proyectos escolares no necesitan precisión profesional, pero sí procedimientos explícitos y honestidad sobre sus límites.

También conviene buscar efectos no previstos. Sustituir vasos desechables por recipientes reutilizables puede aumentar consumo de agua para lavado; una plantación puede usar especies inadecuadas; una medida de ahorro energético puede afectar confort. El objetivo no es paralizar la acción, sino enseñar evaluación sistémica.

La participación puede medirse sin reducirla a cantidad de asistentes. Importa quién participó, qué capacidad tuvo para influir y qué ocurrió con las propuestas. La educación ambiental incorpora así indicadores democráticos y no solo ecológicos.

El ciclo completo es investigar, actuar, observar, explicar y revisar. Esa secuencia convierte sostenibilidad en una práctica de aprendizaje continuo.

La evaluación ambiental necesita también reconocer el problema de atribución. Si una escuela reduce su consumo energético después de una campaña y una renovación de equipos, no puede atribuir todo el cambio al aprendizaje. Diseños simples de evaluación pueden registrar qué intervención ocurrió cuándo y qué otros factores cambiaron. Esta honestidad protege la calidad de las conclusiones.

Los indicadores de conocimiento pueden combinarse con productos auténticos: mapas de sistemas, argumentos, protocolos, propuestas y diarios de revisión. Una prueba escrita puede medir conceptos; un proyecto muestra transferencia. La evaluación plural evita que una competencia compleja dependa de una sola medida.

La conducta observada también necesita contexto. Un estudiante puede no modificar

movilidad porque vive lejos y carece de alternativa. Calificarlo por su huella sería injusto. La evaluación educativa debe centrarse en comprensión y decisiones dentro de opciones reales. Esta separación es esencial para no convertir sostenibilidad en vigilancia moral.

Los resultados ambientales, cuando se miden, deberían expresarse con incertidumbre razonable. Pesajes, contadores y observaciones escolares tienen errores. Documentarlos enseña ciencia. No se necesita precisión de laboratorio para aprender a ser riguroso.

El análisis de efectos no previstos puede formalizarse con una pregunta fija: ¿qué problema nuevo podría crear nuestra solución? Esta pregunta introduce pensamiento sistémico en cada proyecto y reduce entusiasmo acrítico.

Evaluar sostenibilidad significa, en síntesis, aprender a no confundir intención con efecto ni actividad con aprendizaje.

La evaluación institucional puede incorporar una matriz de causalidad. Para cada resultado observado, el grupo identifica explicaciones alternativas. Si disminuyó consumo de agua, ¿cambió el número de estudiantes, hubo una fuga reparada, se modificó clima o funcionó la intervención? Este ejercicio enseña una forma básica de razonamiento causal y previene atribuciones triunfalistas.

Los proyectos de sostenibilidad también pueden evaluarse por permanencia. Una acción que funciona mientras un grupo motivado la dirige y desaparece al semestre siguiente tiene un nivel de institucionalización diferente de una práctica incorporada a rutinas. El estudiante puede preguntar qué recursos, responsables y reglas sostienen el cambio. La sostenibilidad del proyecto se vuelve objeto de estudio.

Otra dimensión es la escalabilidad. Una intervención eficaz en un curso puede enfrentar problemas al expandirse a toda la institución. Costos, coordinación y diversidad de usuarios aumentan. Probar a pequeña escala y documentar condiciones permite aprender antes de escalar. Esta lógica aproxima educación ambiental a gestión de proyectos y políticas.

La evaluación puede incluir además equidad. Una medida ambiental puede reducir consumo promedio y afectar desproporcionadamente a un grupo. Por ejemplo, restringir acceso a determinado recurso podría crear barreras de accesibilidad. Incorporar una pregunta distributiva en cada evaluación evita que el indicador agregado oculte consecuencias.

El cierre de un proyecto debería producir una recomendación proporcional a la evidencia. Si los datos son exploratorios, la conclusión debe presentarse como hipótesis o propuesta piloto. Esta modestia no debilita el trabajo; muestra madurez científica. Aprender a no decir más de lo que los datos permiten es una competencia ambiental fundamental.

Cuando la evaluación se organiza de este modo, el aula deja de premiar la estética de la campaña y empieza a valorar comprensión, trazabilidad y aprendizaje. Esa es la transición que este capítulo busca consolidar.

La comunicación pública del riesgo merece una atención específica porque los proyectos ambientales suelen terminar en piezas comunicativas. Una buena infografía no convierte automáticamente datos complejos en comprensión. Seleccionar una cifra, un color y una comparación implica decisiones. El estudiante debería poder justificar por qué eligió una métrica y qué interpretación alternativa podría surgir de otra representación. La comunicación se evalúa por fidelidad al conocimiento, no solo por impacto visual.

El principio de proporcionalidad también aplica al lenguaje. Decir que una sustancia "es tóxica" sin dosis o vía de exposición puede generar alarma; minimizar un riesgo porque la probabilidad individual es baja puede ignorar una población grande. La alfabetización ambiental necesita enseñar que riesgo combina probabilidad y consecuencia, y que comunicar ambos componentes permite decisiones más informadas.

Las redes sociales amplifican además imágenes de desastres sin contexto temporal o geográfico. Un video de contaminación puede ser real y corresponder a otro país o año. La educación ambiental puede incorporar verificación básica: rastrear origen, identificar institución que produjo datos y separar evidencia visual de explicación causal. Este cruce con ciudadanía digital es especialmente relevante cuando asuntos ambientales se vuelven virales.

La comunicación institucional debe reconocer cambios de información. Durante una emergencia, las primeras cifras son provisionales. Corregirlas no debería presentarse como fracaso, siempre que exista transparencia sobre método y razones de la revisión. Enseñar esta lógica ayuda a construir confianza madura: confiar no porque una autoridad sea infalible, sino porque sus procedimientos permiten corregir.

Los estudiantes pueden practicar esta competencia mediante comunicados escalonados. Reciben datos parciales de una contingencia ficticia y deben producir un primer informe que distinga hechos confirmados, hipótesis y datos faltantes. Más tarde reciben nueva evidencia y actualizan el mensaje. La actividad muestra por qué una comunicación responsable evita cerrar

conclusiones antes de tiempo.

4.6. ENSEÑAR AMBIENTE MEDIANTE PROBLEMAS REALES

Casos, indagación y evaluación para evitar la pedagogía de los eslóganes

El acápite 4.6 traduce los fundamentos del capítulo 4 en experiencias de aprendizaje. Se proponen pocos problemas, suficientemente desarrollados para que ciencia, ciudadanía y territorio entren en conversación.

PROBLEMAS SOCIOCIENTÍFICOS: ENSEÑAR DONDE LOS DATOS ENCUENTRAN VALORES

Las cuestiones sociocientíficas ofrecen una arquitectura adecuada porque combinan evidencia científica con consecuencias sociales. Zeidler et al. (2005) propusieron ir más allá de enfoques ciencia-tecnología-sociedad hacia una integración explícita de razonamiento moral y desarrollo del carácter. Sadler y Zeidler (2005) mostraron cómo el conocimiento de contenido influye en razonamiento informal. La educación ambiental encuentra en este marco problemas naturales: energía, agua, biodiversidad, minería, movilidad o alimentación.

Högström et al. (2025) revisan enseñanza de cuestiones sociocientíficas y documentan diversidad de objetivos y métodos. Una lección importante es que el problema necesita estar diseñado, no solo anunciado. “Debatir sobre cambio climático” es demasiado amplio. Una tarea mejor define una decisión: una institución debe reducir consumo energético con presupuesto limitado; ¿qué combinación de medidas debe priorizar y por qué?

Kumar et al. (2024) muestran el uso de problemas ambientales sociocientíficos para desarrollar alfabetización científica. La fortaleza está en obligar a conectar contenido y decisión. Un estudiante que comprende contaminación atmosférica necesita usar ese conocimiento para interpretar datos y comparar opciones. La ciencia deja de ser contexto decorativo.

El profesor debe distinguir controversia social de controversia científica. Puede existir consenso robusto sobre un mecanismo y desacuerdo político sobre la respuesta. Presentar ambos como “dos lados científicos” crea falsa equivalencia. La neutralidad docente consiste en enseñar con precisión qué está establecido y permitir pluralidad donde realmente existe decisión normativa.

La argumentación puede organizarse en afirmación, evidencia, razonamiento y respuesta a objeciones. Osborne (2010) muestra la importancia del discurso crítico colaborativo para aprender ciencia. En educación ambiental, añadir una columna de “consecuencia distributiva” obliga a preguntar quién gana y quién asume costos.

Los casos industriales del acápite 4.3 funcionan bien en este formato. Deepwater puede utilizarse para analizar diseño de prevención; Dieselgate para discutir calidad de medición; Lisama para mapear actores y respuesta. El objetivo no es repetir la historia, sino utilizarla para formular decisiones.

El caso se cierra cuando el estudiante identifica qué información adicional necesitaría. Esta habilidad es central porque los problemas ambientales reales rara vez llegan con todos los datos. Saber qué falta es parte del conocimiento.

La pedagogía de problemas necesita tiempo suficiente para que el estudiante cambie de explicación. Un proyecto de dos horas puede ilustrar; difícilmente permitirá construir línea base, intervenir y revisar. La profundidad exige continuidad. Zhang et al. (2025) muestran la diversidad de prácticas escolares y la importancia de observar cómo se implementan. El diseño temporal es parte de la metodología.

El trabajo de campo aporta experiencia directa, pero no debe idealizarse. Visitar un ecosistema sin preguntas puede convertirse en paseo; medir sin comprender puede convertirse en ritual. Antes de salir, el grupo necesita hipótesis y protocolos; después, debe interpretar resultados. La experiencia se vuelve aprendizaje mediante preparación y reflexión.

Los modelos y simulaciones permiten explorar procesos demasiado lentos o grandes. Una simulación de población, cuenca o energía puede mostrar retroalimentaciones. El estudiante debe recordar que el modelo simplifica. Comparar resultados con datos reales enseña tanto el poder como el límite de la representación.

La argumentación es otra herramienta. Osborne (2010) muestra su papel en aprendizaje científico. En ambiente, pedir al estudiante que construya una recomendación obliga a seleccionar evidencia y responder objeciones. Incluir efectos distributivos evita una respuesta puramente

técnica.

La ciencia ciudadana puede integrarse cuando existen plataformas y protocolos adecuados. Vohland et al. (2021) muestran que el grado de participación varía desde contribuir datos hasta co-diseñar proyectos. La escuela debe saber en qué nivel está y no presentar una recolección dirigida como co-creación si los estudiantes no participan en preguntas o análisis.

La pedagogía ambiental profunda utiliza métodos distintos porque los problemas son distintos. Su coherencia proviene de una secuencia compartida: investigar, relacionar, decidir, observar y revisar.

TRES SECUENCIAS PROFUNDAS PARA EL AULA

La primera secuencia trabaja residuos institucionales. Durante una semana, el grupo caracteriza una muestra de residuos, documenta método, identifica puntos de generación y compara alternativas. Luego reconstruye la cadena: compra, uso, separación, recolección y destino. La propuesta final no puede limitarse a “poner más canecas”; debe identificar qué intervención modifica el mecanismo observado. Esta secuencia integra pensamiento sistémico, datos y competencia para la acción.

La segunda secuencia trabaja agua y territorio. Los estudiantes seleccionan un cuerpo de agua o un problema de abastecimiento, recopilan información pública, mapas, testimonios y datos disponibles. Construyen una matriz de actores y distinguen calidad de agua, disponibilidad, infraestructura y usos. Si existe trabajo comunitario, se aplican principios de consentimiento y devolución. El resultado puede ser un informe que señale qué se sabe, qué es incierto y qué autoridad tiene competencia.

La tercera secuencia trabaja información ambiental empresarial. Se elige una afirmación pública —por ejemplo, “producto sostenible”, “cero emisiones” o “material reciclable”— y se rastrea la evidencia. Los estudiantes identifican frontera del sistema, indicador, certificación y posibles omisiones. Dieselgate sirve como antecedente para mostrar por qué verificar la medición importa. La tarea no busca acusar empresas; enseña a distinguir marketing de evidencia.

Estas secuencias comparten una lógica: definir problema, construir línea base, identificar actores, analizar alternativas, intervenir o formular recomendación y evaluar. La acción puede ser pequeña. Lo importante es que el razonamiento sea completo.

La evaluación puede utilizar una rúbrica con cinco dimensiones: comprensión sistémica, calidad de evidencia, reconocimiento de escalas, consideración de justicia y capacidad de revisión. Una campaña atractiva con evidencia débil debería recibir menor valoración que un proyecto modesto bien documentado. Esta regla evita premiar visibilidad sobre aprendizaje.

Los errores deben documentarse. Si una estrategia de separación no funciona, el grupo investiga barreras y rediseña. Esta iteración transforma fracaso en dato. La educación ambiental deja de enseñar perfección moral y empieza a enseñar aprendizaje institucional.

La experiencia puede culminar en comunicación pública: presentar resultados a directivos, familias o autoridades. Esa audiencia obliga a cuidar precisión y a diferenciar evidencia de recomendación. El estudiante aprende que una propuesta pública necesita explicar tanto lo que sabe como lo que todavía no puede afirmar.

La secuencia de residuos puede profundizarse mediante análisis de composición. El grupo no solo pesa; clasifica por material y función, identifica qué fracción proviene de compras institucionales y qué parte depende de hábitos de usuarios. Si la mayor categoría es empaque de un proveedor, una campaña estudiantil puede tener impacto limitado sin revisar contratos. El diagnóstico determina la intervención.

La secuencia de agua puede incorporar historia. Comparar mapas o testimonios sobre cambios en un cauce ayuda a distinguir variación estacional de transformación estructural. Si existen datos públicos de calidad de agua, los estudiantes pueden analizar tendencias y límites de muestreo. El proyecto conecta ciencia con memoria territorial.

La secuencia de información empresarial puede incluir economía circular. Un grupo analiza una afirmación de reciclabilidad y pregunta si existe infraestructura local para reciclar el material. La diferencia entre “técnicamente reciclable” y “efectivamente reciclado” muestra cómo contexto modifica la veracidad práctica de una afirmación.

Estas secuencias pueden culminar en audiencias reales sin exigir que cada proyecto busque incidencia externa. Presentar a compañeros o familias ya crea responsabilidad comunicativa. La audiencia debe elegirse según madurez y sensibilidad del tema.

La seguridad también importa. Trabajos con agua contaminada, residuos peligrosos

o instalaciones industriales requieren límites. La educación ambiental no justifica exponer estudiantes a riesgo. Cuando el problema no puede investigarse directamente, pueden utilizarse datos públicos, simulaciones o entrevistas.

La buena secuencia deja un archivo. Protocolos, datos y conclusiones pueden ser retomados por el siguiente curso. Esta continuidad transforma proyectos aislados en memoria institucional y permite observar cambios de varios años.

UNA PEDAGOGÍA AMBIENTAL PARA COLOMBIA Y AMÉRICA LATINA

La educación ambiental colombiana posee una tradición normativa que reconoce su carácter transversal. La Política Nacional de Educación Ambiental y la Ley 1549 de 2012 institucionalizan procesos de educación ambiental y articulación territorial. Estos marcos establecen obligaciones y orientaciones, pero la calidad pedagógica depende de cómo se traducen a problemas concretos. Un PRAE puede convertirse en documento formal o en espacio genuino de investigación escolar; la diferencia está en la profundidad del proceso.

El territorio latinoamericano exige atención a ruralidad, diversidad cultural, extractivismo, urbanización y desigualdad. Aplicar materiales producidos para otros contextos sin adaptación puede ignorar prácticas locales y conflictos reales. La educación ambiental situada pregunta qué problemas afectan a la comunidad, qué actores existen y qué recursos educativos están disponibles.

Lisama 158 ofrece un caso colombiano para trabajar contingencia y autoridad ambiental. Otros territorios pueden seleccionar problemas propios: inundaciones, residuos, pérdida de cobertura, calidad de aire o conflictos de uso del agua. El caso local debe investigarse con el mismo cuidado que un caso internacional, evitando rumores y buscando fuentes institucionales y comunitarias.

Los conocimientos indígenas y campesinos merecen un lugar metodológico, no folclórico. UNESCO OREALC (2019) advierte sobre la necesidad de diálogo de saberes en políticas educativas. La escuela puede invitar a portadores de conocimiento, pero debe preparar preguntas, reconocer autoría y devolver resultados. El aprendizaje ocurre en el encuentro entre observaciones, marcos y criterios distintos.

La desigualdad obliga a revisar recomendaciones. Pedir reducción de consumo energético puede tener significados diferentes en hogares con niveles de consumo muy distintos. Promover productos más costosos puede excluir. La justicia ambiental aporta un criterio para adaptar expectativas a capacidad y responsabilidad.

América Latina también ofrece experiencias de organización comunitaria y defensa de bienes comunes. La educación puede estudiarlas como fenómenos sociales sin exigir adhesión. Analizar qué demandas formularon, qué evidencia utilizaron, qué instituciones intervinieron y qué resultados obtuvieron permite aprender ciudadanía ambiental.

La meta final es una educación capaz de conectar planeta y territorio. Los marcos globales ayudan a comprender procesos; los casos locales muestran cómo esos procesos se experimentan y gobiernan. La combinación evita tanto el localismo ciego como la abstracción planetaria.

Tabla 10. Dimensiones para evaluar el aprendizaje ambiental

Dimensión de evaluación	Pregunta guía	Evidencia de aprendizaje
Comprensión sistémica	¿Reconstruye relaciones y retroalimentaciones?	Mapa causal o explicación con mecanismos.
Evidencia	¿Distingue dato, inferencia, escenario y recomendación?	Fuentes trazables y límites explícitos.
Escala	¿Ubica responsabilidades en persona, institución y sistema?	Matriz de actores y competencias.
Justicia	¿Reconoce distribución de beneficios, costos y voz?	Análisis de grupos afectados y participación.
Acción y revisión	¿Diseña, observa y modifica una intervención?	Línea base, resultados, explicación y rediseño.

Nota. Síntesis de los criterios desarrollados en este capítulo.

En Colombia, los Proyectos Ambientales Escolares pueden beneficiarse de esta lógica de continuidad. La Ley 1549 de 2012 fortalece la institucionalización de la educación ambiental, pero el cumplimiento formal no garantiza profundidad. Un PRAE puede pasar de calendario de actividades a programa de investigación si define problemas, líneas base, actores y criterios

de seguimiento. La norma crea una oportunidad; el diseño pedagógico determina cómo se aprovecha.

La Política Nacional de Educación Ambiental de 2002 planteó articulación entre educación, participación y territorio. Dos décadas después, esa orientación sigue siendo pertinente precisamente porque muchos problemas ambientales desbordan sectores. La escuela puede actuar como nodo de información y aprendizaje sin asumir funciones que corresponden a autoridades ambientales o comunidades.

La diversidad territorial latinoamericana exige flexibilidad. Un currículo nacional puede proponer competencias comunes, pero una escuela amazónica, andina, caribeña o urbana vive relaciones ambientales diferentes. La contextualización no significa abandonar conceptos científicos universales; significa seleccionar casos y escalas que permitan entenderlos desde experiencias significativas.

El diálogo de saberes puede integrarse mediante preguntas paralelas. ¿Qué muestran los registros instrumentales? ¿Qué recuerdan habitantes? ¿Qué prácticas tradicionales existen? ¿Dónde coinciden y dónde divergen? El estudiante aprende a construir una explicación sin borrar la procedencia de cada fuente.

La justicia ambiental es especialmente relevante en territorios con alta desigualdad. Medidas que parecen pequeñas para hogares de alto ingreso pueden ser inviables para otros. La educación debe discutir costo y capacidad antes de moralizar conductas. Esta sensibilidad aumenta legitimidad y profundidad.

Finalmente, la educación ambiental latinoamericana puede aprovechar una fortaleza: la cercanía entre biodiversidad, cultura y conflicto territorial. Esa complejidad obliga a integrar disciplinas y convierte el territorio en un laboratorio donde sostenibilidad deja de ser palabra abstracta.

La pedagogía ambiental necesita además enseñar a reconocer cuándo un problema excede la capacidad de la escuela. Una contaminación peligrosa, un conflicto legal o una emergencia no deben convertirse en experimentos escolares. El aprendizaje responsable consiste en utilizar datos públicos, consultar expertos y respetar competencias institucionales. Saber hasta dónde actuar también es competencia para la acción.

Los docentes pueden construir redes con autoridades, universidades, organizaciones y comunidades para ampliar recursos, pero estas alianzas necesitan roles claros. Una institución externa puede aportar conocimiento especializado; la escuela conserva responsabilidad pedagógica; la comunidad aporta experiencia y prioridades. La colaboración funciona mejor cuando cada actor sabe qué ofrece y qué espera.

La actualización curricular es otra condición. Nuevos materiales, tecnologías y riesgos aparecen con rapidez. En lugar de intentar incluir cada tema, el currículo debe conservar herramientas duraderas: pensamiento sistémico, evaluación de evidencia, análisis de ciclo, justicia, acción y revisión. Los casos pueden cambiar; la arquitectura de razonamiento permanece.

Esta estabilidad metodológica permite que el capítulo use Deepwater, Dieselgate o Lisama sin quedar atado a ellos. Cada caso es una puerta hacia mecanismos transferibles: riesgo, medición, comunicación, responsabilidad, restauración. El futuro traerá otros nombres; las preguntas seguirán siendo útiles.

La educación ambiental profunda termina siendo una educación sobre límites: límites ecológicos, límites del conocimiento, límites de la acción individual y límites institucionales. Reconocer límites no conduce necesariamente a la resignación. Permite actuar con mayor precisión y evitar promesas que desgastan la confianza.

Habitar responsablemente significa, en este sentido, aprender a intervenir sin creer que todo está bajo control. La sostenibilidad no es una condición final que se alcanza una vez, sino una práctica de observación, decisión y corrección dentro de sistemas cambiantes.

Sterling (2001) propone que la sostenibilidad educativa exige cambios de segundo orden: no solo hacer más eficiente lo existente, sino revisar supuestos sobre aprendizaje y organización. Esta idea puede aplicarse con prudencia a la escuela. Reducir papel es una mejora operativa; cuestionar por qué se imprime, cómo se evalúa y qué procesos digitales podrían sustituirlo implica examinar el sistema. La educación ambiental profunda busca esta segunda capa sin despreciar mejoras pequeñas.

La transformación institucional también necesita evitar el perfeccionismo. Una escuela puede avanzar en residuos y tener limitaciones energéticas; puede mejorar compras y carecer de transporte sostenible. Mostrar estas contradicciones no debilita el proyecto. Enseña que sostenibilidad es una trayectoria con decisiones incompletas. La honestidad sobre límites evita convertir la institución en vitrina y fortalece su función educativa.

El aprendizaje organizacional requiere responsables y memoria. Si cada cohorte repite el diagnóstico inicial, se pierde capacidad acumulativa. Un repositorio sencillo con datos, decisiones y resultados permite comparar años y formular nuevas preguntas. La sostenibilidad institucional se vuelve entonces conocimiento colectivo, no una sucesión de campañas.

Esta continuidad ofrece una forma concreta de esperanza. No depende de imaginar un futuro perfecto, sino de observar que un sistema puede aprender, corregir y conservar memoria de sus decisiones. La educación ambiental encuentra allí una tarea realista: formar personas capaces de participar en ese aprendizaje y de exigirlo a las organizaciones de las que forman parte.

DECIDIR BAJO INCERTIDUMBRE Y DISTINGUIR MECANISMOS DE INTERVENCIÓN

Decidir bajo incertidumbre exige comparar el daño plausible, su reversibilidad, el costo de esperar y la información que podría modificar la recomendación. Un falso positivo supone intervenir ante un riesgo que finalmente era menor; un falso negativo supone omitir una respuesta frente a un daño real. Sus costos pueden ser distintos. La educación puede utilizar escenarios para discutir cuándo es razonable ampliar información y cuándo la magnitud o irreversibilidad del daño justifican mayor cautela.

El principio de precaución no funciona como una orden indiscriminada de detener toda actividad. Su análisis exige justificar alcance, duración, revisión y condiciones para cambiar la medida. La experiencia de Lisama del acápite 4.3 permite examinar qué preguntas deben formularse a una autoridad, sin convertir la escuela en instancia de control ambiental. Prevenir, mitigar, compensar y restaurar deben distinguirse porque actúan sobre mecanismos y momentos diferentes.

Dos grupos pueden compartir datos y asignar pesos distintos a empleo, costo, conservación y participación. El diseño educativo debe hacer visibles esas prioridades y exigir una representación justa de la alternativa. La secuencia siguiente permite practicar esta deliberación con una intervención pequeña, trazable y reversible.

APLICACIÓN ILUSTRATIVA: DECIDIR SOBRE RESIDUOS DE UNA CAFETERÍA ESCOLAR

Se propone una secuencia ilustrativa para educación secundaria o formación docente: decidir cómo reducir residuos de una cafetería escolar ficticia. El escenario plantea que el consejo escolar dispone de recursos limitados y debe comparar tres alternativas: reducir envases desde las compras, usar recipientes reutilizables o mejorar separación y recolección. No se aportan resultados de una intervención real ni se presupone cuál opción es mejor. La pregunta es qué combinación puede justificarse con información suficiente, riesgos proporcionados y responsabilidades claras. La actividad puede ocupar seis sesiones y un periodo de observación definido por el docente.

Los materiales comprenden un plano sencillo de la cafetería; un inventario de tipos de envase; muestras limpias o fotografías de materiales; fichas de productos y servicios elaboradas para el ejercicio; una hoja de registro; y una descripción de la cadena de recolección. Si se trabaja con una institución real, compras y servicios deben proporcionar datos autorizados y verificables. El grupo no manipulará residuos peligrosos, restos contaminados ni información personal. Cuando no sea posible observar de forma segura, el docente utiliza documentos simulados, identificados como tales. La ausencia de un dato se registra como pregunta pendiente.

En la primera sesión, el grupo delimita el sistema: compra, entrega, consumo, devolución, separación, transporte y destino. Cada equipo dibuja relaciones y distingue aquello que controla el estudiante, la cafetería, el proveedor y el servicio recolector. La ficha de trabajo incluye actor, decisión, recurso necesario y efecto esperado. Un envase técnicamente reciclable no se considera efectivamente recuperado hasta verificar su ruta. Este paso desarrolla el razonamiento sistémico del acápite 4.1 y evita comenzar por una campaña cuyo mecanismo todavía no se comprende.

La segunda sesión construye la línea de base o su protocolo. El documento de observación debe indicar fecha, duración, unidad de registro, categorías, regla de clasificación, instrumento y responsable. Puede contar unidades de envase por tipo o registrar masa con un procedimiento apropiado, pero las unidades no se mezclarán. Se anotan condiciones que afecten la comparación, como número de usuarios o cambios de menú. Dos observadores clasifican una pequeña muestra limpia y discuten diferencias antes de usar el protocolo. Una discrepancia de clasificación se documenta; no se corrige escogiendo el valor que favorezca una propuesta.

La tercera sesión compara alternativas con la misma función: servir alimentos en condiciones adecuadas. Reducir envases puede exigir renegociar compras; reutilizar requiere almacenamiento, lavado y organización de devoluciones; mejorar separación depende de materiales aceptados y de una cadena posterior operativa. Cada equipo prepara una ficha por alternativa con costo inicial y recurrente, condiciones de higiene, necesidades de agua y energía, accesibilidad, carga de trabajo y destino de materiales. Si falta evidencia, escribe qué documento o consulta permitiría obtenerla. La opción se juzga por su contexto, sin asumir que una etiqueta ambiental garantiza sostenibilidad.

En la cuarta sesión se realiza una deliberación con roles rotativos: estudiantes, personal de cafetería, compras y recolección. No se representan personas reales ni se atribuyen posiciones a una comunidad sin consultarla. Cada rol formula una necesidad y una objeción; el equipo responde con evidencia o reconoce el límite. Por ejemplo, una propuesta de recipientes retornables debe explicar qué ocurre si no se devuelven o si lavar añade una carga que no fue presupuestada. La justicia del acápite 4.4 se incorpora preguntando quién paga, quién trabaja más y quién podría enfrentar una barrera de participación.

La quinta sesión produce una recomendación y, si existe autorización institucional, un piloto reversible. El diseño señala alcance, duración, responsable, recursos, información que se recogerá y condiciones para detener o modificar la intervención. No se ejecuta una compra ni se altera un servicio por decisión exclusiva del grupo. Si solo se dispone de materiales simulados, el producto es un plan razonado, sin afirmar eficacia. El piloto debe conservar una alternativa de continuidad y establecer cómo comunicar dificultades. La institución completa del acápite 4.5 aparece aquí como coordinación de decisiones, no como obligación de perfección ambiental.

La sexta sesión compara lo observado con la línea de base, cuando ambos registros existen. Antes de atribuir un cambio al proyecto, se buscan explicaciones alternativas: variación de usuarios, menú, calendario, compras o recolección. La evaluación distingue comprensión, capacidad de decisión, práctica y resultado ambiental, conforme al análisis de Ardoin et al. (2020). Un proyecto puede demostrar aprendizaje aunque no reduzca un indicador; también puede observar una disminución que no permita inferir su causa. La devolución a la institución presenta esos límites, los costos no previstos y las condiciones que deberían verificarse antes de ampliar.

El producto final es un expediente breve con mapa del sistema, protocolo, registros o vacíos declarados, comparación de alternativas, acta de deliberación y recomendación. La regla de evaluación asigna igual peso a cuatro dimensiones: reconstrucción de mecanismos, calidad y trazabilidad de información, consideración de responsabilidades y equidad, y capacidad de revisar. Cada dimensión se valora de cero a tres: ausente, enunciada, aplicada o aplicada con límites justificados. El criterio es explícito y adaptable; no constituye una escala validada. Inventar registros o ocultar un riesgo relevante exige corregir el expediente antes de aprobarlo. La conclusión debe señalar qué se aprendió y qué permanece pendiente, sin convertir una actividad visible en prueba de solución completa.

CONCLUSIÓN. APRENDER A HABITAR SIN SIMPLIFICAR EL MUNDO

La educación ambiental reúne conocimiento ecológico, lectura de instituciones y capacidad para decidir. La basura remite a compras y cadenas de materiales; una inundación, a clima, ocupación, drenaje y vulnerabilidad; una emisión, a tecnología, regulación y uso. El pensamiento sistémico permite reconstruir estas relaciones antes de prescribir una solución. Los marcos globales necesitan interpretación territorial, mientras los casos locales requieren evidencia que permita reconocer sus límites de generalización.

La brecha entre preocupación y acción impide evaluar compromiso únicamente por conducta. Portus et al. (2024), Kollmuss y Agyeman (2002) y Gifford (2011) relacionan barreras, hábitos y contextos con esa distancia. La educación puede desarrollar comprensión y capacidad, pero no controla toda la infraestructura ni las decisiones externas. La responsabilidad debe distribuirse según las posibilidades de personas, organizaciones y autoridades, con atención a quienes soportan costos y riesgos.

El clima y los casos industriales muestran por qué actuar requiere precisión frente a la incertidumbre. Una proyección no es una predicción única; una actualización de evidencia no borra el conocimiento previo. Deepwater Horizon, Dieselgate y Lisama 158 permiten examinar mecanismos de prevención, medición, comunicación y respuesta. Prevenir, mitigar, compensar y restaurar cumplen funciones distintas: una intervención posterior puede ser necesaria sin equivaler a evitar el daño original. La reversibilidad y los costos de errores posibles deben formar

parte del análisis.

La justicia ambiental añade distribución, reconocimiento y participación. Comparar indicadores no basta cuando un territorio tiene significados culturales, capacidades desiguales o conocimientos que no fueron escuchados. Ciencia, saberes locales e instituciones pueden colaborar manteniendo visible la procedencia y el alcance de cada afirmación. La autonomía del estudiante se protege cuando puede distinguir desacuerdo sobre evidencia de desacuerdo sobre valores y prioridades.

El propósito del capítulo 4 es formar capacidades para comprender sistemas socioecológicos, interpretar evidencia y riesgo, reconocer pluralidad de conocimientos y participar con responsabilidad. Los problemas del acápite 4.6 articulan investigación, decisión y revisión; su evaluación distingue aprendizaje de impacto ambiental y reconoce efectos no previstos. Una propuesta proporcionada puede empezar como piloto y corregirse. Aprender a habitar implica intervenir con criterios explícitos y conservar disposición a revisar, sin esperar certeza imposible ni prometer control sobre todo el sistema.

REFERENCIAS

- Aeschbach, V. M.-J., Schwichow, M., & Rieß, W. (2025). Effectiveness of climate change education—a meta-analysis. *Frontiers in Education*, 10, 1563816. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1563816>
- Agyeman, J. (2005). *Sustainable communities and the challenge of environmental justice*. New York University Press.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 518–542. <https://doi.org/10.1002/sce.20432>
- Ardoín, N. M., Bowers, A. W., & Gaillard, E. (2020). Environmental education outcomes for conservation: A systematic review. *Biological Conservation*, 241, 108224. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108224>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2018a, 27 de marzo). *ANLA ordena inicio de procedimiento sancionatorio contra Ecopetrol*.
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2018b, 21 de marzo). *ANLA verifica atención de Ecopetrol a emergencia en bloque Lisama, Santander*.
- Bamberg, S., & Möser, G. (2007). Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: A new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behaviour. *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2006.12.002>
- Berkes, F. (2012). *Sacred ecology* (3rd ed.). Routledge.
- Bullard, R. D. (1990). *Dumping in Dixie: Race, class, and environmental quality*. Westview Press.
- Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Ha, M. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report*. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Carson, R. (1962). *Silent spring*. Houghton Mifflin.
- Chawla, L., & Cushing, D. F. (2007). Education for strategic environmental behavior. *Environmental Education Research*, 13(4), 437–452. <https://doi.org/10.1080/13504620701581539>
- Chen, S.-Y., & Liu, S.-Y. (2020). Developing students' action competence for a sustainable future: A review of educational research. *Sustainability*, 12(4), 1374. <https://doi.org/10.3390/su12041374>
- Clayton, S., & Karazsia, B. T. (2020). Development and validation of a measure of climate change anxiety. *Journal of Environmental Psychology*, 69, 101434. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101434>
- Dewey, J. (1916). *Democracy and education*. Macmillan.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Gifford, R. (2011). The dragons of inaction: Psychological barriers that limit climate change mitigation and adaptation. *American Psychologist*, 66(4), 290–302. <https://doi.org/10.1037/a0023566>
- Guevara-Herrero, I., Bravo-Torija, B., & Pérez-Martín, J. M. (2024). Educational practice in education for environmental justice: A systematic review of the literature. *Sustainability*, 16(7), 2805. <https://doi.org/10.3390/su16072805>
- Högström, P., Gericke, N., Wallin, J., & Bergman, E. (2025). Teaching socioscientific issues: A systematic review. *Science & Education*, 34, 3079–3122. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00542-y>
- Holst, J. (2023). Towards coherence on sustainability in education: A systematic review of Whole Institution Approaches. *Sustainability Science*, 18, 1015–1030. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01226-8>
- Hungerford, H. R., & Volk, T. L. (1990). Changing learner behavior through environmental education. *The Journal of Environmental Education*, 21(3), 8–21. <https://doi.org/10.1080/00958964.1990.10753743>
- Husamah, H., Suwono, H., Nur, H., & Dharmawan, A. (2022). Action competencies for sustainability and its implications to environmental education for prospective science teachers: A systematic literature review. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(8), em2138. <https://doi.org/10.29333/ejmste/12235>
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services*. IPBES. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- Jensen, B. B., & Schnack, K. (1997). The action competence approach in environmental education. *Environmental Education Research*, 3(2), 163–178. <https://doi.org/10.1080/1350462970030205>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, 8(3), 239–260. <https://doi.org/10.1080/13504620220145401>
- Kumar, P., Choudhary, S., & Singh, R. (2024). Environmental socio-scientific issues as contexts in developing scientific literacy in science education: A systematic literature review. *Social Sciences & Humanities Open*, 9, 100765. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100765>
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in systems: A primer*. Chelsea Green.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, & Ministerio de Educación Nacional. (2002). *Política Nacional de Educación Ambiental*. República de Colombia.
- Monroe, M. C., Plate, R. R., Oxarart, A., Bowers, A., & Chaves, W. A. (2019). Identifying effective climate change

- education strategies: A systematic review of the research. *Environmental Education Research*, 25(6), 791–812. <https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1360842>
- Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. UNESCO.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2026). *Deepwater Horizon: A moment in time, decades of restoration*. NOAA Fisheries.
- National Research Council. (2012). *A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, 87(2), 224–240. <https://doi.org/10.1002/sce.10066>
- Ojala, M. (2012). Hope and climate change: The importance of hope for environmental engagement among young people. *Environmental Education Research*, 18(5), 625–642. <https://doi.org/10.1080/13504622.2011.637157>
- Olsson, D., Gericke, N., & Chang Rundgren, S.-N. (2016). The effect of implementation of education for sustainable development in Swedish compulsory schools – assessing pupils' sustainability consciousness. *Environmental Education Research*, 22(2), 176–202. <https://doi.org/10.1080/13504622.2015.1005057>
- Orr, D. W. (1992). *Ecological literacy: Education and the transition to a postmodern world*. State University of New York Press.
- Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. *Science*, 328(5977), 463–466. <https://doi.org/10.1126/science.1183944>
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Portus, R., Aarnio-Linnanvuori, E., Dillon, B., Fahy, F., Gopinath, D., Mansikka-Aho, A., Williams, S.-J., Reilly, K., & McEwen, L. (2024). Exploring the environmental value action gap in education research: A semi-systematic literature review. *Environmental Education Research*, 30(6), 833–863. <https://doi.org/10.1080/13504622.2024.2314060>
- República de Colombia. (2012). *Ley 1549 de 2012, por medio de la cual se fortalece la institucionalización de la política nacional de educación ambiental y su incorporación efectiva en el desarrollo territorial*.
- Resnik, D. B., Elliott, K. C., & Miller, A. K. (2015). A framework for addressing ethical issues in citizen science. *Environmental Science & Policy*, 54, 475–481. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.05.008>
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., ... Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2005). The significance of content knowledge for informal reasoning regarding socioscientific issues. *Science Education*, 89(1), 71–93. <https://doi.org/10.1002/sce.20023>
- Sauvé, L. (2005). Currents in environmental education: Mapping a complex and evolving pedagogical field. *Canadian Journal of Environmental Education*, 10(1), 11–37.
- Schlosberg, D. (2007). *Defining environmental justice: Theories, movements, and nature*. Oxford University Press.
- Sterling, S. (2001). *Sustainable education: Re-visioning learning and change*. Green Books.
- Stern, P. C. (2000). Toward a coherent theory of environmentally significant behavior. *Journal of Social Issues*, 56(3), 407–424. <https://doi.org/10.1111/0022-4537.00175>
- UNESCO. (2017). *Education for Sustainable Development Goals: Learning objectives*.
- UNESCO. (2020a). *Education for sustainable development: A roadmap*.
- UNESCO Office Santiago and Regional Bureau for Education in Latin America and the Caribbean. (2019). *Conocimientos indígenas y políticas educativas en América Latina: Hacia un diálogo de saberes, segundo informe*. UNESCO.
- United Nations Environment Programme. (2023). *Turning off the tap: How the world can end plastic pollution and create a circular economy*. UNEP.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2015, September 25). *EPA update on recent Volkswagen announcement*. <https://www.epa.gov/archive/epa/newsreleases/epa-update-recent-volkswagen-announcement.html>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2016a). *Deepwater Horizon – BP oil spill: Enforcement and settlement information*.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2016b). *Volkswagen to spend up to \$14.7 billion to settle allegations of cheating emissions tests and deceiving customers on 2.0 liter diesel vehicles*.
- Vohland, K., Land-Zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., Samson, R., & Wagenknecht, K. (Eds.). (2021). *The science of citizen science*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4>
- Wals, A. E. J. (2011). Learning our way to sustainability. *Journal of Education for Sustainable Development*, 5(2), 177–186. <https://doi.org/10.1177/097340821100500208>
- White, K., Habib, R., & Hardisty, D. J. (2019). How to SHIFT consumer behaviors to be more sustainable: A literature review and guiding framework. *Journal of Marketing*, 83(3), 22–49. <https://doi.org/10.1177/0022242919825649>
- Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Simmons, M. L., & Howes, E. V. (2005). Beyond STS: A research-based framework for

socioscientific issues education. *Science Education*, 89(3), 357–377. <https://doi.org/10.1002/sce.20048>
Zhang, X., Jung, W., & Asari, M. (2025). Systematic review of environmental education teaching practices in schools: Trends and gaps (2015–2024). *Sustainability*, 17(19), 8561. <https://doi.org/10.3390/su17198561>