



Promover la comprensión de la ciencia como una construcción social de conocimiento y su relación con la tecnología, la sociedad y el medioambiente



¿En qué consiste la práctica de promover la comprensión de la ciencia como una construcción social de conocimiento y su relación con la tecnología, la sociedad y el medioambiente?

Esta práctica busca que las y los estudiantes desarrollen una comprensión de la naturaleza de las ciencias desde una dimensión filosófica e histórica (Adúriz-Bravo, 2008): reconocer qué es la ciencia, cómo se produce y valida el conocimiento científico y de qué manera éste se vincula con la sociedad. Supone comprender que la ciencia constituye una forma particular de conocer el mundo natural, sustentada en evidencia empírica y en procesos de razonamiento sistemático, que emplea diversos métodos según los fenómenos estudiados, se mantiene abierta a la revisión permanente y se configura como una construcción humana colectiva situada histórica, social y culturalmente. El desarrollo progresivo de estos aprendizajes favorece que las y los estudiantes analicen críticamente afirmaciones científicas y participen de manera informada en discusiones sociocientíficas (Ministerio de Educación de Chile [MINEDUC], 2015, 2022a, 2022b, 2022c).

Comprender la naturaleza de las ciencias constituye una competencia ciudadana esencial para la participación en sociedades democráticas, donde las decisiones vinculadas a la ciencia y la tecnología inciden directamente en la vida cotidiana. Por ello, se reconoce como una necesidad formativa y, al mismo tiempo, como un derecho de todas las personas (MINEDUC, 2022a, 2022b, 2022c). Una ciudadanía científicamente alfabetizada puede interpretar fenómenos naturales mediante el uso de modelos, tomar decisiones informadas frente a problemáticas sociocientíficas, ejercer pensamiento crítico, reconocer las ciencias como un producto cultural humano y mantener una mirada ética sobre sus alcances y limitaciones (Acevedo Díaz, 2004 citado en Adúriz-Bravo, 2008).

Para avanzar hacia estos propósitos, resulta fundamental comprender la ciencia como un proceso colectivo de construcción de conocimiento basado en el análisis sistemático de evidencia mediante procedimientos que pueden ser revisados y replicados por otros investigadores. Esto permite diferenciarla de otras formas de conocimiento. Para ello es necesario reconocer y valorar el rol de los constructos y valores intrínsecos a la ciencia, por ejemplo, comprender qué se entiende por una observación, una hipótesis, una inferencia, un modelo, una teoría o una afirmación, y ser capaces de distinguir entre ellos (National Research Council [NRC], 2012). Estos constructos representan diferentes niveles de generalización y abstracción en la explicación de fenómenos naturales (MINEDUC, 2022a, 2022b, 2022c). Por ejemplo, una ley científica describe patrones observables en la naturaleza, generalmente expresados de forma matemática; una teoría científica es un sistema explicativo amplio que integra múltiples observaciones y da cuenta de diversos fenómenos; una hipótesis es una explicación tentativa que puede ser sometida a prueba; y un modelo científico es una representación aproximada de un sistema que tiene utilidad para explicar, argumentar, predecir y resolver problemas (NGSS, 2013). Las explicaciones, teorías y modelos científicos son aquellos que mejor dan cuenta de los hechos conocidos en su momento (Harlen, 2010, 2015).

Para la construcción de este conocimiento, la ciencia utiliza una variedad de métodos. No existe un único "método científico" universal: las investigaciones científicas emplean diversos procedimientos según la naturaleza del fenómeno estudiado, incluyendo experimentos controlados, estudios de campo, observaciones sistemáticas, búsqueda de patrones, modelización matemática y análisis de grandes conjuntos de datos (NGSS,

2013). Esta diversidad metodológica refleja la riqueza y complejidad de la construcción de conocimiento científico.

Los argumentos que surgen de las investigaciones pueden ser de diferente naturaleza, por ejemplo, algunos argumentos son hipotético-deductivos (como el argumento de Copérnico a favor del sistema heliocéntrico), otros son inductivos (como la conservación de la energía), y otros corresponden a inferencias a la mejor explicación (como la teoría de la evolución de Darwin o el argumento de Wegener sobre la deriva continental), basados en la mejor evidencia disponible (OECD, 2023).

Como elemento característico y común a los diferentes métodos, la ciencia constituye un proceso colaborativo que produce conocimiento confiable mediante prácticas como el control de variables, la revisión por pares y la replicación (OECD, 2023). Este punto es clave en la educación en ciencias: las personas necesitan comprender más que los procedimientos aplicados para obtener un conjunto de datos; necesitan ser capaces de juzgar si estos procedimientos son apropiados y si las afirmaciones resultantes están justificadas (OECD, 2023). Esto implica reconocer que el error es parte del proceso científico, que las teorías científicas no son simples conjeturas y que el consenso se construye colectivamente dentro de la comunidad científica (OECD, 2023). El desacuerdo entre científicos es, por tanto, normal y no extraordinario. De hecho, es una disposición crítica y escéptica hacia toda evidencia empírica lo que muchos consideran el sello distintivo del científico profesional (OECD, 2023).

Comprender la historia de la ciencia y su impacto en la actualidad permite apreciar que cada avance científico se construye progresivamente sobre el trabajo de quienes vinieron antes, que las ideas actuales son el resultado de debates, controversias y ajustes sucesivos, y que el conocimiento científico es tanto el producto de un largo proceso histórico como una construcción siempre abierta a nuevas contribuciones. El conocimiento científico es, por lo tanto, durable pero tentativo: está sujeto a cambio basado en nueva evidencia (Harlen, 2010, 2015). Esta construcción implica también valorar que las contribuciones científicas provienen de personas de diversas culturas, géneros, orígenes y contextos, y reconocer esta diversidad enriquece la comprensión de la ciencia como proyecto humano colectivo.

La naturaleza de las ciencias también implica comprender las relaciones recíprocas entre ciencia, tecnología, sociedad y medioambiente. Un descubrimiento científico que tiene

como consecuencia el desarrollo de una nueva tecnología modifica algunos aspectos de la sociedad, provocando nuevas exigencias para la ciencia. Las nuevas tecnologías de punta, a su vez, hacen posible a los científicos extender sus investigaciones a nuevas formas o líneas de investigación (MINEDUC, 2015). Esto implica también analizar cómo en el pasado y en la actualidad la tecnología, usando el conocimiento científico, ha impactado positiva o negativamente en la sociedad, incluyendo el análisis crítico de cuestiones sociocientíficas locales y globales (Harlen, 2010). Los factores históricos, sociales, políticos, económicos, tecnológicos y éticos influyen significativamente en la construcción del conocimiento científico: qué problemas se investigan, qué líneas reciben financiamiento y cómo se interpretan los resultados están influenciados por el contexto sociocultural (MINEDUC, 2022a, 2022b, 2022c). La ciencia no está aislada de la sociedad: genera conocimiento que es aplicado tecnológicamente, esas aplicaciones transforman la sociedad y el ambiente, y esos cambios a su vez redefinen qué problemas científicos son prioritarios. Comprender estas interconexiones es esencial para tomar decisiones informadas sobre cuestiones que afectan la vida en sociedad.

A lo largo de su trayectoria escolar se espera que las y los estudiantes adquieran progresivamente ideas sobre la naturaleza de la ciencia. En educación inicial, las niñas y niños reconocen que la ciencia ayuda a conocer el mundo, que las investigaciones científicas comienzan con preguntas, que los científicos buscan patrones, que el conocimiento científico puede cambiar, y que científicos de diversos orígenes practican ciencia estudiando el mundo natural (NGSS, 2013). En educación básica comprenden que los métodos científicos se determinan por las preguntas, que las explicaciones se basan en evidencia reconociendo patrones, que la ciencia es usada por muchas personas, y que la creatividad e imaginación son importantes (NGSS, 2013). De forma progresiva comprenden que las investigaciones utilizan diversos métodos guiados por valores como objetividad, que el conocimiento se basa en conexiones lógicas entre evidencia y explicaciones, y que la ciencia es acumulativa con contribuciones globales (NGSS, 2013). En educación media, profundizan comprendiendo que la ciencia se distingue de otras formas de conocer mediante estándares empíricos, argumentos lógicos y revisión escéptica; que el conocimiento científico resulta del esfuerzo humano, imaginación y creatividad; que científicos de diversas naciones y culturas han contribuido históricamente; que sus antecedentes teóricos influyen en sus hallazgos; y que la ciencia tiene límites éticos. (NGSS, 2013).

La naturaleza de las ciencias debe abordarse de manera explícita y reflexiva en la enseñanza porque constituye meta-conocimiento que requiere reflexión consciente y no puede ser inferido implícitamente por las y los estudiantes a través de la mera práctica científica (Acevedo, 2010). La investigación ha demostrado que este enfoque explícito resulta significativamente más eficaz para desarrollar una comprensión genuina sobre cómo funciona la ciencia (Acevedo, 2010) y es una piedra angular para la alfabetización científica (Adúriz-Bravo, 2008).



Qué no es la práctica de promover la comprensión de la ciencia como una construcción social de conocimiento y su relación con la tecnología, la sociedad y el medioambiente

- Presentar la ciencia como una colección de verdades absolutas e incuestionables y los modelos, leyes y teorías como copias exactas de la realidad. Enseñar el conocimiento científico como definitivo refuerza visiones dogmáticas y dificulta comprender su carácter provisional y revisable.
- Enseñar el "método científico" como una secuencia rígida y universal. Presentar un único método invisibiliza la diversidad de formas de investigar, razonar y modelizar, y transmite una imagen simplificada y poco realista del quehacer científico.
- Memorizar definiciones de constructos como teoría, ley, modelo o hipótesis de manera descontextualizada. Aprender que es una teoría sin comprender cómo funcionan en la práctica, sin analizar ejemplos históricos y sin reconocer el rol que cumplen en la generación de conocimiento, no desarrolla comprensión genuina sobre la naturaleza de las ciencias (NRC, 2012; Adúriz-Bravo, 2008).
- Enseñar que la ciencia es completamente neutral o independiente de contextos socioculturales. Las preguntas que se investigan, los métodos, la interpretación de resultados y las aplicaciones están influenciados por factores históricos, sociales, políticos, económicos y éticos (MINEDUC, 2022a, 2022b, 2022c)

- Presentar la ciencia como inherentemente buena o como progreso inevitable sin analizar críticamente sus impactos negativos y dilemas éticos. La ciencia ha generado beneficios, y también consecuencias adversas: daños ambientales, desarrollo de armas o profundización de desigualdades. El conocimiento científico en sí mismo no es ni bueno ni malo, pero sus aplicaciones tienen consecuencias que deben ser evaluadas éticamente.
- Perpetuar estereotipos sobre quiénes pueden hacer ciencia. La imagen del científico como genio solitario, varón y blanco ha excluido simbólicamente a mujeres y personas de diversas culturas. Comprender la naturaleza de las ciencias implica reconocer que las contribuciones provienen de la diversidad humana (NGSS, 2013).
- Enseñar historia de la ciencia como secuencia lineal de descubrimientos triunfales. La historia real está llena de controversias, debates, errores productivos y contribuciones colectivas invisibilizadas.
- Presentar ciencia y tecnología como sinónimos. Si bien están relacionadas, tienen propósitos diferentes: la ciencia busca comprender fenómenos naturales mientras la tecnología busca resolver problemas prácticos (Harlen, 2010).
- Presentar anécdotas históricas sin reflexión conceptual y asociadas a cursos avanzados. Debe desarrollarse progresivamente desde educación parvularia, usando ejemplos históricos para analizar cómo se construye y valida el conocimiento científico (Adúriz-Bravo, 2008).



Estrategias

- **Anticipar y desafiar concepciones alternativas sobre la naturaleza de las ciencias.** Identificar ideas previas comunes y diseñar secuencias que las desafíen explícitamente. Por ejemplo, si los estudiantes creen que los científicos trabajan aisladamente, analizar artículos científicos reales mostrando múltiples autores,

instituciones colaboradoras, agradecimientos a financiadores y revisores. Luego reflexionar: ¿Por qué creías que los científicos trabajaban solos? ¿Qué evidencia cambió tu idea? Esto desarrolla la comprensión del carácter colectivo de la ciencia.

- **Usar analogías cotidianas para comprender procesos epistémicos.** Utilizar comparaciones con situaciones familiares para hacer comprensibles procesos abstractos de construcción de conocimiento científico. Las analogías permiten que las y los estudiantes de todos los niveles accedan a ideas epistemológicas complejas mediante experiencias cercanas que comparten estructura lógica con la actividad científica. Por ejemplo, comparar cómo un modelo científico representa selectivamente la realidad con cómo un mapa del metro simplifica la ciudad para ser útil: ambos omiten deliberadamente detalles (calles secundarias, topografía real), priorizan cierta información (conexiones, estaciones), y son evaluados por su utilidad más que por su parecido exacto con lo real. Las y los estudiantes pueden discutir qué hace que un mapa o un modelo atómico sea "bueno" sin esperar que sea una copia fiel.
- **Diseñar controversias científicas simuladas con roles asignados.** Recrear debates históricos o contemporáneos donde estudiantes defienden posturas científicas rivales con la evidencia disponible en ese momento. Por ejemplo, simular el debate entre defensores del flogisto y de la oxidación en el siglo XVIII, proporcionando los experimentos de Lavoisier y las objeciones de los flogistonistas. Las y los estudiantes deben argumentar desde cada perspectiva usando solo la evidencia disponible entonces, comprendiendo por qué una explicación eventualmente fue más exitosa.
- **Analizar críticamente noticias científicas en medios de comunicación.** Examinar cómo los medios reportan descubrimientos científicos, identificando distorsiones y omisiones.
- **Proporcionar la noticia periodística junto con el artículo científico original permite comparar qué se transformó.** Las y los estudiantes desarrollan criterios para evaluar confiabilidad: ¿Se cita la fuente original? ¿Se mencionan limitaciones? ¿Quién financió la investigación? Por ejemplo, analizar cómo una noticia titula "El chocolate cura el cáncer" cuando el estudio original reporta efectos modestos en células en laboratorio con múltiples limitaciones omitidas.

- **Construir líneas de tiempo colaborativas de conceptos científicos.** Investigar y representar visualmente cómo un concepto científico evolucionó, identificando contribuciones de múltiples científicos, controversias e influencias socioculturales. Por ejemplo, construir la línea de tiempo de "¿Qué es la luz?" desde griegos hasta física cuántica, incluyendo debates Newton-Huygens, experimentos de Young, efecto fotoeléctrico de Einstein. Destacar que cada respuesta fue la mejor explicación disponible con la evidencia de su época.
- **Realizar "autopsias" de investigaciones científicas estudiantiles.** Después de investigaciones, reflexionar metacognitivamente: ¿Qué decisiones metodológicas tomamos y por qué? ¿Qué supuestos hicimos sin darnos cuenta? ¿Cómo influyeron nuestras ideas previas en la interpretación de datos? Esta reflexión sistemática hace visible que hacer ciencia implica decisiones humanas, no seguir un algoritmo neutral. Por ejemplo, tras investigar factores que afectan el crecimiento de plantas, reflexionar: ¿Por qué elegimos medir altura y no grosor del tallo o número de hojas? ¿Cómo decidimos qué variables controlar y cuáles ignorar? ¿Qué explicaciones descartamos sin probarlas? ¿Cómo interpretamos datos anómalos: como errores experimentales o como información valiosa? Comparar decisiones entre grupos de estudiantes revela que múltiples enfoques válidos existen.
- **Invitar a científicos locales para conversar sobre su trabajo real.** Organizar encuentros donde científicos compartan su trabajo cotidiano: qué investigan y por qué, cómo trabajan colaborativamente, qué dificultades enfrentan, qué factores no científicos influyen, cómo se financia. Por ejemplo, invitar a una climatóloga para que explique cómo su equipo maneja incertidumbre en proyecciones, cómo comunican resultados a públicos diversos, qué presiones enfrentan al publicar hallazgos controversiales. Esto humaniza la ciencia y desafía estereotipos.
- **Comparar explicaciones científicas y no científicas del mismo fenómeno.** Analizar cómo la ciencia, mitos, religión o conocimiento tradicional explican un mismo fenómeno para identificar qué caracteriza específicamente a explicaciones científicas. Por ejemplo, comparar explicaciones del origen del universo: Big Bang, narrativas de creación cultural, y pseudociencias. Discutir qué hace que Big Bang sea científico: se basa en evidencia observable, hace predicciones verificables, se ha revisado con nuevos datos, es consistente con física conocida.

- **Trabajar con modelos múltiples del mismo sistema.** Presentar dos o más modelos científicos que explican el mismo fenómeno con diferentes niveles de complejidad para comprender qué modelos son herramientas con objetivos específicos, no "la realidad". Por ejemplo, trabajar con tres modelos de átomos (Bohr, Lewis, mecánico-cuántico) mostrando que cada uno es útil para diferentes propósitos. Discutir: ¿Por qué los químicos siguen usando el modelo "incorrecto" de Lewis?
- **Diseñar dilemas éticos sobre aplicaciones científico-tecnológicas.** Presentar casos donde desarrollos científico-tecnológicos plantean tensiones éticas genuinas, requiriendo analizar múltiples perspectivas y reconocer que la ciencia genera conocimiento sobre qué puede hacerse, pero no determina qué debe hacerse. Por ejemplo, el dilema sobre edición genética CRISPR: presentar potencial terapéutico, riesgos, preocupaciones éticas sobre equidad y eugenesia; o el dilema sobre tener animales silvestres en zoológicos. Las y los estudiantes argumentan desde diferentes roles (científicos, padres, comités de ética) evidenciando que decisiones involucran valores sociales.
- **Investigar historia local de ciencia y tecnología.** Indagar sobre desarrollos científico-tecnológicos en la propia región, identificando protagonistas diversos, contextos sociohistóricos e impactos locales. Por ejemplo, investigar la historia de la minería del cobre en Chile: qué conocimientos se desarrollaron localmente, quiénes fueron protagonistas (incluyendo contribuciones indígenas no reconocidas), cómo influyeron factores económicos, qué impactos generó. Estudiantes entrevistan personas mayores, visitan museos locales y construyen narrativas situadas.
- **Deconstruir el mito del método científico único.** Contrastar métodos en diferentes disciplinas para evidenciar que no existe secuencia única de pasos. Por ejemplo, comparar cómo un físico experimental estudia propiedades de materiales (experimentos controlados, mediciones precisas, replicación) versus cómo un ecólogo estudia ecosistemas naturales (observaciones de campo, correlaciones, imposibilidad de controlar todas variables). Ambos hacen ciencia rigurosa, pero con métodos adaptativos a su fenómeno de estudio.
- **Analizar casos donde científicos se equivocaron productivamente.** Estudiar ejemplos donde teorías eventualmente descartadas fueron pasos necesarios hacia

conocimiento actual. Por ejemplo, el flogisto fue el mejor modelo explicativo del siglo XVIII que integraba observaciones de su época. Lavoisier propuso un modelo alternativo que explicaba más fenómenos. Discutir: ¿El flogisto fue "falso"? ¿O fue útil para su contexto? ¿Qué teorías actuales podrían ser eventualmente reemplazadas?

- **Construir galería de científicas y científicos invisibilizados.** Investigar y visibilizar contribuciones de mujeres, personas de culturas no occidentales y grupos marginados. Por ejemplo, investigar Rosalind Franklin (estructura del ADN), Katherine Johnson (cálculos espaciales), Alice Ball (tratamiento lepra), científicos de civilizaciones precolombinas. Crear exhibición con biografías, contexto histórico de discriminación y contribuciones específicas.
- **Organizar juicio científico a teorías o afirmaciones.** Estructurar debate formal donde estudiantes asumen roles de fiscalía, defensa y jurado. Por ejemplo, juicio a "Las vacunas causan autismo": fiscalía presenta estudios epidemiológicos y mecanismos biológicos; defensa intenta argumentar con testimonios anecdóticos; jurado evalúa calidad de evidencia según estándares científicos. Esto desarrolla la comprensión de cómo la comunidad científica evalúa afirmaciones mediante escrutinio riguroso.
- **Reflexionar sobre el cambio conceptual.** Al finalizar una unidad, pedir a estudiantes que revisen ideas iniciales: ¿Qué pensabas que era ciencia? ¿Qué ha cambiado y por qué? Esta metacognición hace visible que comprender la naturaleza de las ciencias es proceso gradual de revisión, análogo a cómo progresa el conocimiento científico. Por ejemplo, reflexionar sobre cómo cambió la concepción de "teoría" desde "suposición no comprobada" hacia "explicación comprensiva basada en evidencia".



Bibliografía

- Acevedo Díaz, J. A. (2010). Formación del profesorado de ciencias y enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(3), 653-660.
- Adúriz-Bravo, A. (2008). La naturaleza de la ciencia. En C. Merino, A. Gómez Galindo, & A. Adúriz-Bravo (Coords.), *Áreas y estrategias de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 69–77). Universidad de Santiago de Chile.
- Harlen, W. (Ed.). (2010). *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias*. Association for Science Education.
- Harlen, W. (Ed.). (2015). *Trabajando con las grandes ideas de la educación en ciencias*. La Red Global de Academias de Ciencia (IAP). Association for Science Education.
- Ministerio de Educación de Chile. (2015). *Bases curriculares de 7° básico a 2° medio*. Autor.
- Ministerio de Educación de Chile. (2022a). *Estándares pedagógicos y disciplinarios para carreras de pedagogía en química, educación media*. Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas.
- Ministerio de Educación de Chile. (2022b). *Estándares pedagógicos y disciplinarios para carreras de pedagogía en física, educación media*. Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas.
- Ministerio de Educación de Chile. (2022c). *Estándares pedagógicos y disciplinarios para carreras de pedagogía en biología, educación media*. Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press.

- NGSS Lead States. (2013). *Appendix H: Understanding the scientific enterprise: The nature of science in the Next Generation Science Standards*. En NGSS Lead States, *Next Generation Science Standards: For states, by states*. The National Academies Press.
- Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD. (2023). *PISA 2025 science framework (Second draft)*. OECD Publishing.