

Ontología y fundamentos epistemológicos de la metodología de enseñanza de las ciencias experimentales

Ontology and Epistemological Foundations of Methodology in the Teaching of

Ontologia e fundamentos epistemológicos da metodologia de ensino das ciências experimentais

Bonilla-Bonilla, Manuel Alejandro
Investigador Independiente

mabonillab5@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2334-9876>



González-Orna, Galo Mauricio
Investigador Independiente

gmgonzalezo@uce.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-7175-9811>



Olmedo-Espinoza, Edison Andrés
Investigador Independiente

edison.olmedo01@epn.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-3253-9521>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/n2/1181>

Como citar:

Bonilla-Bonilla, M. A., González-Orna, G. M., & Olmedo-Espinoza, E. A. (2025). Ontología y fundamentos epistemológicos de la metodología de enseñanza de las ciencias experimentales. *Código Científico Revista De Investigación*, 6(2), 65–98.

Recibido: 24/10/2025

Aceptado: 20/11/2025

Publicado: 31/12/2025

Resumen

La investigación examina los supuestos ontológicos y epistemológicos que subyacen al diseño metodológico en la enseñanza de las ciencias experimentales. El objetivo es establecer los fundamentos conceptuales que determinan cómo se enseña, valida y operacionaliza el conocimiento científico experimental en la práctica docente. La metodología emplea un análisis teórico-conceptual basado en una revisión documental sistemática de la filosofía de la ciencia, la teoría de la enseñanza de las ciencias y la literatura sobre modelización científica. Los resultados revelan que las metodologías de enseñanza presuponen una ontología realista-empirista, al tiempo que incorporan prácticas epistemológicas constructivistas que enfatizan el conocimiento construido activamente. El análisis demuestra que estas tensiones producen consecuencias concretas para el diseño curricular y la comprensión del alumnado. La conclusión sostiene que el realismo crítico ofrece un marco productivo de solución, al mantener el realismo ontológico sobre los objetos científicos, al mismo tiempo que permite reconocer el constructivismo epistemológico sobre la adquisición del conocimiento. Se constata que explicitar los supuestos fundamentales detrás de la enseñanza científica contribuye a la coherencia metodológica, fortalece la alfabetización científica, y apoya marcos pedagógicos acordes con la filosofía de la ciencia contemporánea.

Palabras clave: metodología, didáctica de las ciencias, ciencias experimentales, constructivismo, realismo científico.

Abstract

This article examines the ontological and epistemological assumptions underlying methodological design in experimental science teaching. The aim is to establish conceptual foundations that determine how experimental scientific knowledge is taught, validated, and operationalized in teaching practice. The methodology employs a theoretical-conceptual analysis based on a systematic literature review of the philosophy of science, science teaching theory, and the literature on scientific modeling. The results reveal that teaching methodologies characteristically presuppose a realist-empiricist ontology while incorporating constructivist epistemological practices that emphasize actively constructed knowledge. The analysis demonstrates that these tensions produce concrete consequences for curriculum design and student understanding. The conclusion argues that critical realism offers a productive framework by maintaining ontological realism regarding scientific objects while acknowledging epistemological constructivism regarding knowledge acquisition. It is evident that making fundamental assumptions explicit contributes to methodological coherence, strengthens scientific literacy, and supports pedagogical frameworks consistent with contemporary philosophy of science.

Keywords: methodology, science didactics, experimental sciences, constructivism, scientific realism.

Resumo

Este artigo examina os pressupostos ontológicos e epistemológicos subjacentes ao desenho metodológico no ensino da ciência experimental. O objetivo é estabelecer fundamentos conceituais que determinam como o conhecimento científico experimental é ensinado, validado e operacionalizado na prática docente. A metodologia emprega uma análise teórico-conceitual baseada numa revisão sistemática da literatura sobre filosofia da ciência, teoria do ensino das ciências e literatura sobre modelagem científica. Os resultados revelam que as metodologias de ensino pressupõem caracteristicamente uma ontologia realista-empirista, ao

mesmo tempo que incorporam práticas epistemológicas construtivistas que enfatizam o conhecimento construído ativamente. A análise demonstra que estas tensões produzem consequências concretas para a concepção curricular e a compreensão dos alunos. A conclusão argumenta que o realismo crítico oferece um quadro produtivo, mantendo o realismo ontológico em relação aos objetos científicos, ao mesmo tempo que reconhece o construtivismo epistemológico em relação à aquisição de conhecimento. É evidente que tornar explícitas as suposições fundamentais contribui para a coerência metodológica, reforça a literacia científica e apoia quadros pedagógicos consistentes com a filosofia contemporânea da ciência.

Palavras-chave: metodologia, didática das ciências, ciências experimentais, construtivismo, realismo científico.

Introducción

La enseñanza de las ciencias experimentales se desarrolla dentro de una compleja red de supuestos filosóficos que con frecuencia no se examinan en la práctica pedagógica. Si bien la investigación en didáctica de las ciencias ha abordado extensamente las estrategias pedagógicas, el desarrollo cognitivo y el diseño curricular, los compromisos ontológicos y epistemológicos fundamentales que estructuran estas metodologías suelen permanecer implícitos. Como la define Crotty, la epistemología es: "la teoría del conocimiento integrada en la perspectiva teórica y, por ende, en la metodología", mientras que la ontología se ocupa de "qué tipo de mundo estamos investigando, de la naturaleza de la existencia, de la estructura de la realidad en sí misma" (1998.). En conjunto, estos supuestos filosóficos influyen en las decisiones metodológicas de maneras que moldean profundamente lo que se considera conocimiento científico válido en contextos educativos y cómo se transmite y evalúa dicho conocimiento.

La investigación en didáctica de las ciencias ha abordado extensamente estrategias pedagógicas, el desarrollo cognitivo, y el diseño curricular, dejando implícita y sin examinar la compleja red de supuestos ontológicos y epistemológicos que estructuran la teoría, práctica y metodología científica. Los supuestos ontológicos estructuran como concebimos la realidad misma, la naturaleza del mundo que se está estudiando; y los epistemológicos sirven como una

teoría sobre el origen y la obtención de conocimiento integrada en la teoría y metodología científica (Crotty, 1998; Schraw, 2013).

La enseñanza de las ciencias contemporáneas enfrenta una tensión filosófica fundamental. Por un lado, la instrucción científica experimental tradicional suele adoptar implícitamente una ontología realista-empirista expresada en la premisa de que "la realidad existe ahí fuera y se rige por leyes naturales inmutables que pueden descubrirse mediante la observación empírica" (Guba, 1990). Por otro lado, los enfoques pedagógicos constructivistas se han vuelto dominantes en el discurso de la enseñanza de las ciencias, haciendo hincapié en que los estudiantes construyen activamente el conocimiento en lugar de recibirlo pasivamente. Esta dualidad filosófica crea lo que podría denominarse una desalineación ontológico-epistemológica.

La importancia de esta falta de alineación trasciende la coherencia teórica. Cuando los docentes y diseñadores de currículo no explicitan sus compromisos ontológicos y epistemológicos, corren el riesgo de generar enfoques pedagógicos que transmiten mensajes contradictorios a los estudiantes sobre la naturaleza del conocimiento científico, el papel de la experimentación y el fundamento de las afirmaciones científicas. Como señala Schraw: "mientras que "la epistemología se centra en las creencias sobre el origen y la adquisición del conocimiento..., la ontología se centra en las creencias sobre la naturaleza de la realidad y el ser" (2013); influyendo decisivamente ambas dimensiones en las prácticas docentes y los resultados del aprendizaje de los estudiantes.

Esta investigación se propone articular los supuestos ontológicos y epistemológicos implícitos que subyacen a los enfoques metodológicos dominantes en la enseñanza experimental de las ciencias. Analizar las tensiones filosóficas que surgen cuando las ontologías realista-empiristas se encuentran con las prácticas pedagógicas constructivistas. Y consonancia con ello, argumentar la necesidad de explicitar los supuestos fundamentales para

lograr una mayor coherencia metodológica y desarrollar marcos didácticos mejor alineados con la filosofía de la ciencia contemporánea.

Examinar los fundamentos metodológicos de la enseñanza experimental de las ciencias requiere la revisión la relación jerárquica entre los supuestos filosóficos y la práctica pedagógica. Como afirma Al-Ababneh: "las cuestiones ontológicas y epistemológicas influyen en la metodología de investigación al proporcionar una comprensión clara de las diferentes metodologías de investigación basadas en la ontología y la epistemología" (2020). Esta estructura jerárquica opera a través de varios niveles interconectados. En el nivel fundamental se sitúa la ontología, que aborda cuestiones esenciales sobre la naturaleza de la realidad. En contextos educativos, las posturas ontológicas abarcan desde el realismo, la visión de que "la realidad es objetiva, externa e independiente de la percepción humana" (Guba y Lincoln, 1989); hasta el relativismo, que sostiene que "las realidades existen en forma de múltiples construcciones mentales, basadas en la experiencia y la sociedad, locales y específicas" (Guba, 1990). Tales posturas ontológicas no son meras posiciones filosóficas abstractas; influyen directamente en lo que los educadores consideran objetos legítimos de investigación científica y objetivos últimos de la indagación científica. La capa epistemológica se basa en fundamentos ontológicos, abordando cuestiones sobre cómo se puede obtener y validar el conocimiento de la realidad. Una ontología realista suele ir acompañada de una epistemología empirista, donde el conocimiento se adquiere a través de la experiencia sensorial y solo puede avanzar mediante la observación y la experimentación (Cohen et al., 2007). Por el contrario, las ontologías relativistas a menudo se alinean con las epistemologías constructivistas, que enfatizan que el conocimiento y la realidad son producto de su contexto cultural (Kincheloe, 2008); y que la comprensión requiere interpretación, no mera observación. La capa metodológica surge de estos compromisos ontológicos y epistemológicos, determinando la estrategia, el plan de acción, el proceso o el diseño que subyace a la elección y el uso de enfoques didácticos

particulares (Crotty, 1998). Fundamentalmente, las elecciones metodológicas deben ser coherentes con sus supuestos filosóficos subyacentes. Mantener la claridad sobre estas relaciones es esencial para evitar lo que Bhaskar (1978) llama la falacia epistémica: la reducción de cuestiones ontológicas a cuestiones epistemológicas.

El concepto de paradigmas se refiere a un marco teórico general de investigación que abarca un conjunto flexible de supuestos, conceptos o proposiciones lógicamente relacionados que orientan el pensamiento (Mack, 2014). En la enseñanza de las ciencias, varios marcos paradigmáticos, a veces contrapuestos, estructuran los enfoques metodológicos. El paradigma positivista, históricamente dominante en la enseñanza de las ciencias, parte de la premisa de que existe una única realidad, medible y cognoscible (Patel, 2019). Este paradigma asume una epistemología dualista/objetivista en la que es posible y esencial que el investigador adopte una postura distante y no interactiva, y emplea metodologías experimentales/manipulativas donde las preguntas o hipótesis se plantean de antemano en forma proposicional y se someten a pruebas empíricas (Guba, 1990). El enfoque positivista en la enseñanza de las ciencias enfatiza la verificación, la replicación y el descubrimiento de leyes universales mediante la experimentación controlada.

El paradigma constructivista surgió como una crítica al positivismo, argumentando que: "el conocimiento no puede transmitirse, sino que debe construirse mediante la actividad mental de los aprendices" (Driver et al., 1994). El constructivismo descarta la epistemología tradicional que opera sobre una realidad independiente de la mente y, en cambio, postula que la realidad se construye, no se descubre (Capanaro, 2012). En la enseñanza de las ciencias, el constructivismo se manifiesta de diversas maneras, incluyendo el constructivismo cognitivo piagetiano y el constructivismo social vygotskiano, cada uno con implicaciones distintas para la metodología didáctica.

El realismo crítico se ha visualizado como un intento de conciliar los enfoques positivista y constructivista. Como explica Sayer (1992), el realismo crítico aboga por una combinación de ontología realista y epistemología constructivista, sosteniendo que el mundo existe independientemente de nuestro conocimiento de este. Al mismo tiempo, es un axioma de este realismo la idea de que el conocimiento del mundo es siempre una construcción humana y social (Bhaskar, 1978). Esta postura reconoce que la ontología no se reduce a la epistemología; en otras palabras, el mundo es más de lo que podemos ver (Sayer, 1992), ofreciendo un marco potencialmente productivo para reconciliar los compromisos contrapuestos en la enseñanza de las ciencias.

Un problema central en la metodología contemporánea de la enseñanza de las ciencias es que los supuestos filosóficos suelen permanecer implícitos en lugar de explícitos en el diseño curricular y en la práctica docente. La investigación indica que "las creencias epistemológicas y ontológicas de los docentes parecen estar estrechamente vinculadas y reflejan su conocimiento y visión del mundo de la enseñanza" (Garner y Kaplan, 2019). Como señalan Monk y Osborne: "la historia y la filosofía de la ciencia deben tener una justificación integral y coherente con los objetivos principales de los docentes para tener alguna posibilidad de ser consideradas para su inclusión en un programa de estudios" (1997); sin embargo, dicha integración rara vez se produce de forma sistemática. Las consecuencias de estas suposiciones implícitas son significativas. Cuando los compromisos ontológicos y epistemológicos no se examinan, surgen problemas como: incoherencia metodológica, donde las estrategias de enseñanza contradicen sus fundamentos filosóficos; mensajes confusos a los estudiantes sobre la naturaleza del conocimiento científico y cómo se valida; una incapacidad para abordar de manera coherente cuestiones sobre la evidencia, la generalización y la relación entre teoría y observación; y de manera recurrente sucede que los docentes pierden oportunidades para

desarrollar la sofisticación epistemológica de los estudiantes y su comprensión de la naturaleza de la ciencia.

Dado este conjunto de problemáticas se plantea la cuestión de intentar conciliar el desfase entre el modelo de conocimiento científico y las asunciones filosóficas sobre la realidad que se pretende conocer científicamente.

Metodología

La investigación se realizó bajo un enfoque cualitativo de nivel teórico y modalidad documental, orientada a establecer asociaciones conceptuales, coherencias internas y tensiones entre supuestos ontológicos y epistemológicos presentes en la literatura especializada sobre la enseñanza de las ciencias experimentales. El diseño de investigación se estructuró como revisión documental sistemática y análisis teórico-conceptual comparado, empleando procedimientos de análisis hermenéutico y análisis categorial filosófico aplicado a textos académicos.

Se seleccionaron como fuentes primarias artículos indexados en bases científicas internacionales, libros académicos de filosofía de la ciencia y obras clásicas que fundamentan los paradigmas positivista, constructivista y realismo crítico. Se utilizó como criterio de inclusión que las obras analizadas fueran textos académicos arbitrados o publicaciones académicas reconocidas que presentaran explícitamente posiciones ontológicas y epistemológicas relacionadas con metodología científica y enseñanza de ciencias. Se excluyeron fuentes divulgativas, ensayos sin referato y documentos sin desarrollo filosófico sustentado. Una vez recopilados los datos, se utilizó la herramienta especializada para el análisis bibliométrico cuantitativo: Bibliometrix (v. 4.4, R Studio) , para identificar los trabajos más relevantes. No se emplearon unidades de observación humanas ni prácticas empíricas experimentales en aula.

El procedimiento consistió en: (1) identificación de categorías base (ontología, epistemología, metodología, modelización científica), (2) codificación conceptual de argumentos, supuestos y definiciones, (3) comparación transversal entre posturas filosóficas, (4) análisis teórico de convergencias, contradicciones y compatibilidades y (5) establecimiento de un marco integrador mediante síntesis interpretativa.

No fue necesaria aprobación de comité de ética institucional dado que no se involucraron sujetos humanos ni intervención experimental.

Resultados

Supuestos ontológicos de la enseñanza de las ciencias experimentales

Los enfoques tradicionales de la enseñanza experimental de las ciencias, en particular los desarrollados durante los movimientos de reforma curricular de mediados del siglo XX, parten de una ontología que puede caracterizarse como realista-empirista. Esta postura ontológica, aunque rara vez se articula explícitamente, subyace a la estructura y justificación de la enseñanza de las ciencias en el laboratorio. Como explica Giere: "esta posición sostiene que los científicos pueden legítimamente afirmar similitudes genuinas entre constructos lógicos y aspectos de la realidad" (1999); aun reconociendo que las teorías científicas nunca capturan por completo la totalidad de la realidad. La ontología realista-empirista se manifiesta en varias características de la enseñanza tradicional de las ciencias. Los experimentos se presentan como métodos para descubrir leyes naturales preexistentes, y no como pruebas construidas de modelos teóricos. El currículo de física de enseñanza "estaba diseñado de tal manera que el estudiante aprendía realizando experimentos, haciendo sus propias observaciones y generalizando a partir de esta experiencia directa" (Crane, 1976). Tal estructura pedagógica presupone implícitamente que las regularidades de la naturaleza existen independientemente de la investigación humana y que se puede acceder a ellas mediante la observación sistemática.

El marco realista-empirista enfatiza también la objetividad e independencia de los resultados experimentales. Como argumentó Popper (1963) en su teoría falsacionista, el conocimiento científico avanza mediante la comprobación crítica de las conjeturas frente a una realidad objetiva. La enseñanza tradicional en los laboratorios adopta tal postura, presentando los resultados experimentales como árbitros definitivos de las afirmaciones teóricas, y donde las predicciones exitosas sirven como evidencia de la correspondencia de las teorías con la realidad. Se enseña a los estudiantes a considerar los resultados experimentales como reveladores de la estructura de la naturaleza, en lugar de como interpretaciones teóricas de datos ambiguos.

El implícito compromiso ontológico presente en esta dinámica de enseñanza respalda una visión particular de la generalización y de los enunciados científicos que apunta hacia el normativismo legal. La premisa de que la realidad se rige por leyes naturales *inmutables* (Guba, 1990), justifica una práctica pedagógica que busca partir de observaciones experimentales concretas para llegar a principios científicos universales. Los estudiantes aprenden que la experimentación rigurosa puede revelar leyes que se mantienen en todos los tiempos y contextos, independientemente de la perspectiva del observador o del marco cultural en que tales leyes son postuladas.

La estructura de los ejercicios de laboratorio tradicionales incorpora compromisos ontológicos específicos sobre qué constituye la realidad científica y cómo se puede acceder a ella. Consideremos el enfoque estándar para enseñar, por ejemplo, la segunda ley de Newton mediante experimentos con masas, fuerzas y aceleraciones. El ejercicio de laboratorio suele asumir: (1) que la fuerza, la masa y la aceleración existen como magnitudes físicas independientes de la mente; (2) que la relación $F=ma$ representa una correspondencia real entre la estructura matemática y la realidad física; (3) que los errores de medición reflejan limitaciones técnicas en lugar de indeterminaciones fundamentales en la naturaleza; y (4) que

la predicción exitosa de los resultados experimentales valida la aplicabilidad universal de la ley. Estos supuestos reflejan lo que Bhaskar (1978) identifica como "realismo trascendental": la postura que sostiene que el conocimiento científico busca describir estructuras y mecanismos que existen y operan independientemente de nuestro conocimiento. La implicación pedagógica es que el trabajo de laboratorio debería capacitar a los estudiantes para disciplinar sus percepciones y eliminar los sesgos subjetivos, con el fin de acceder a la realidad objetiva de manera más directa. Matthews (2003) entre otros, notó que este enfoque considera la observación en ciencias naturales también como un método que puede adoptarse a la investigación en ciencias sociales, dado que ambos dominios comparten una estructura ontológica común.

Sin embargo, la ontología realista-empirista también plantea desafíos pedagógicos específicos. Cuando los resultados experimentales no coinciden con las predicciones teóricas (algo frecuente en las prácticas de laboratorio) los estudiantes pueden concluir erróneamente que no han realizado el experimento correctamente, en lugar de reconocer la complejidad de la relación entre teoría y observación, y que a menudo puede estar detrás de esta discrepancia. El supuesto ontológico de que las leyes de la naturaleza existen objetivamente y pueden revelarse mediante la técnica adecuada deja poco margen para reconocer las dimensiones interpretativas y constructivas de la práctica experimental en el aula.

Samueza-Umaquinga et al. (2025) han hecho notar que metodologías pedagógicas modernas como el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) implican el uso de tecnologías modernas y favorecen la práctica activa en el aula, lo cual se alinea con la necesidad de que los docentes de ciencias experimentales incluyan mayor interactividad en los procesos de experimentación, lo cual incluye una mayor discusión de los supuestos teóricos/filosóficos detrás de aquellos. Gonzales et al. (2025) por su parte han discutido la importancia que tiene el seguimiento activo de los docentes, con apoyo cognitivo y socioemocional, para la obtención

de resultados positivos en la enseñanza, para el caso que nos ocupa, en la adecuada introspección de las implicaciones subyacentes en los experimentos y prácticas.

Sobre los supuestos teóricos presentes en la enseñanza de ciencias experimental, un compromiso ontológico particularmente significativo presente en las practicas pedagógicas se refiere a la naturaleza de la causalidad y la explicación científica. La enseñanza experimental tradicional suele adoptar lo que podría denominarse una concepción de la causalidad basada en la regularidad humana, donde las relaciones causales se entienden como patrones regulares de sucesión entre eventos observables. Esta ontología sustenta la práctica pedagógica de identificar relaciones causales mediante la manipulación sistemática de variables y la observación de sus efectos. Sin embargo, como argumentan los realistas críticos, este enfoque confunde epistemología con ontología. Bhaskar (1998) distingue entre el *dominio empírico* (lo que experimentamos), el *dominio actual* (lo que realmente sucede) y el *dominio real* (los mecanismos y estructuras causales subyacentes). La enseñanza experimental tradicional a menudo no explicita semejantes distinciones, tratando las regularidades observables como si fueran idénticas a los mecanismos causales. Los estudiantes aprenden a identificar correlaciones, pero pueden no desarrollar una comprensión sofisticada de cómo los mecanismos subyacentes generan los patrones observables.

Esta ambigüedad ontológica resulta especialmente problemática al enseñar sobre sistemas complejos, propiedades emergentes o fenómenos donde la manipulación y la observación directas son imposibles. Lo que permite plantear la pregunta: ¿Cómo debería la enseñanza de las ciencias abordar la causalidad en ciencias experimentales como la biología evolutiva, climatología o mecánica cuántica, ámbitos estos donde no se pueden realizar experimentos manipulativos sencillos? La ontología realista-empirista, que funciona razonablemente bien para la mecánica clásica, se ve comprometida al extenderse a estos

contextos, aunque sus supuestos siguen estructurando enfoques didácticos incluso en estos ámbitos más complejos de la experimentación en las aulas.

Tensiones epistemológicas en los enfoques pedagógicos constructivistas

El auge del constructivismo en la enseñanza de las ciencias representa un cambio epistemológico fundamental que genera tensión con los compromisos ontológicos realistas-empiristas arriba examinados. Como argumenta Glasersfeld: "uno de los principales exponentes del constructivismo radical en el acto de conocer es la mente humana la que activamente otorga significado y orden a la realidad a la que responde" (1984). Esta postura epistemológica cuestiona la premisa de que el conocimiento científico representa una correspondencia directa entre la teoría y la realidad, independiente de la mente. La epistemología constructivista en la enseñanza de las ciencias surge de diversas tradiciones convergentes. La epistemología genética argumentada por teóricos como Piaget enfatizó que el conocimiento no puede ser una mercancía que se transporta de una mente a otra. Más bien, corresponde al individuo vincular interpretaciones específicas de experiencias e ideas con su propia referencia de lo posible y viable. La teoría sociocultural de Vygotsky destacó la construcción social del significado, argumentando que "los constructivistas radicales conciben la comprensión y la acción no como procesos dualistas, sino como procesos "unidos circularmente"" (Glasersfeld, 2005).

Estos fundamentos teóricos propiciaron la adopción generalizada de la pedagogía constructivista en las aulas de ciencias. La epistemología constructivista genera varias implicaciones para la enseñanza de las ciencias que resultan incompatibles con las ontologías realistas. Así, el constructivismo enfatiza que "las personas son deliberadas y creativas en sus acciones, actúan intencionalmente y construyen significados en y a través de su actividad" (Blumer, 1969), lo que sugiere que el conocimiento científico se construye activamente en lugar de descubrirse pasivamente. El constructivismo sostiene además que "dos culturas

independientes probablemente desarrollarán metodologías de observación diferentes" (Kincheloe, 2008), lo que implica que el conocimiento científico está culturalmente situado en lugar de ser culturalmente neutral. Por otro lado, el constructivismo radical reemplaza el concepto de verdad por el de viabilidad: una noción según la cual las predicciones de la ciencia son predicciones de experiencias en lugar de correspondencias con una realidad independiente de la mente (Glaserfeld, 1993).

Un punto central de tensión teórica radica en el estatus epistémico de la evidencia experimental. Desde una perspectiva realista-empirista, los resultados experimentales imponen restricciones objetivas a las afirmaciones teóricas, ya que reflejan el funcionamiento real de los fenómenos observados. Los estudiantes aprenden que los experimentos pueden refutar definitivamente las hipótesis o brindar un sólido respaldo a las teorías al demostrar la correspondencia entre las predicciones y las observaciones. La epistemología constructivista cuestiona esta visión simplista al proponer un carácter contingente, así como social e ideológicamente construido de categorías centrales en la investigación empírica como la verdad, la realidad, la evidencia, el documento, la experiencia, el hecho, y la prueba (Kincheloe, 2008). Esta postura sugiere que lo que se considera evidencia, cómo se interpreta, y qué estándares probatorios son apropiados, no pueden determinarse apelando a una realidad independiente de la mente, sino que deben entenderse como construcciones dentro de marcos teóricos.

Esta postura epistemológica plantea dilemas pedagógicos. Si la evidencia experimental se construye en lugar de descubrirse, ¿qué justifica privilegiar ciertos resultados experimentales sobre otros? ¿Cómo pueden los docentes de ciencias mantener la fuerza normativa de la experimentación y, al mismo tiempo, reconocer la dimensión interpretativa de la práctica experimental? Al no ser explícitos los presupuestos ontológicos y epistemológicos en la práctica pedagógica, suele ser difícil mantener de forma coherente la tesis constructivista que

afirma la existencia del mundo real, pero que niega la posibilidad de conocerlo tal cual es. (Matthews, 1997). El problema se agudiza cuando los marcos conceptuales alternativos de los estudiantes entran en conflicto con la comprensión científica establecida. La pedagogía constructivista enfatiza la importancia de tomar en serio las concepciones previas de los estudiantes y utilizarlas como punto de partida para el desarrollo conceptual. Sin embargo, si como afirma Patel (2019) todo conocimiento es construido y no existe una única realidad o verdad, ¿con qué fundamento pueden los educadores científicos afirmar que los modelos científicamente aceptados son superiores a las concepciones alternativas de los estudiantes? La respuesta realista (que los modelos científicos aceptados se corresponden mejor con la realidad objetiva) es precisamente lo que la epistemología constructivista cuestiona.

Otra tensión importante radica en cómo la enseñanza de las ciencias debe abordar la generalización y la formulación de leyes científicas. La instrucción tradicional, basada en supuestos realistas-empiristas, presenta las leyes como "generalizaciones atemporales y contextuales" que describen "leyes naturales inmutables" que rigen la realidad (Guba, 1990). El trabajo experimental busca descubrir estas leyes mediante la observación sistemática y el razonamiento inductivo. La epistemología constructivista cuestiona si el conocimiento puede considerarse objetivo, libre de valores, generalizable y replicable (Wellington, 2000), sugiriendo, en cambio, que toda afirmación de conocimiento se sitúa dentro de contextos y perspectivas particulares. Se pone en cuestión la primacía del razonamiento inductivo, argumentando que las generalizaciones inductivas reflejan marcos teóricos contruidos, más que las interpretaciones directas de la naturaleza. Autores de esta corriente también enfatizan que el conocimiento y la realidad son producto de su contexto cultural (Kincheloe, 2008), lo que implica que incluso las leyes físicas fundamentales pueden interpretarse de manera diferente en distintas culturas. Estos compromisos epistemológicos generan a menudo tensiones metodológicas en la enseñanza experimental de las ciencias. Algunos educadores

científicos han propuesto que las leyes científicas se entiendan como construcciones altamente viables en lugar de verdades descubiertas, pero tal enfoque relativista tiene la potencialidad de socavar la comprensión de los estudiantes sobre por qué el conocimiento científico ha demostrado ser tan poderoso en la aplicación tecnológica.

Quizás la tensión más profunda reside en las implicaciones ontológicas de la epistemología constructivista. La mayoría de los constructivistas sostienen un antirrealismo epistemológico, más que ontológico: niegan la posibilidad del conocimiento del mundo real, pero no niegan la existencia del mundo mismo (Matthews, 1997). Esta distinción suele desdibujarse en la práctica pedagógica. Si la realidad es una construcción social, ¿qué estatus ontológico debe atribuirse a los objetos de investigación científica? ¿Son los electrones, los genes y las placas tectónicas características descubiertas de naturaleza independiente de la mente, o son construcciones teóricas cuya realidad se confiere mediante la práctica científica?

Los educadores científicos que adoptan el constructivismo social deben abordar estas difíciles cuestiones manteniendo la coherencia pedagógica. Como observa Kitcher, "el argumento de la inaccesibilidad de la realidad que sostiene que no podemos tener acceso directo a la realidad, es un arma terrorista que los antirrealistas emplean con enorme confianza" (2001). Este argumento, central en la epistemología constructivista, crea un dilema evidencial: los constructivistas pretenden apelar a la naturaleza de las realidades cognitivas (procesos de aprendizaje) y epistemológicas (especialmente la historia de la ciencia) para fundamentar sus propuestas pedagógicas, curriculares y epistemológicas, pero en su mayoría afirman que tales realidades no pueden conocerse o son para siempre inaccesibles para nosotros (Matthews, 2014). Un dilema de esta naturaleza socava la coherencia de la enseñanza constructivista de las ciencias.

Modelado científico: Un estudio de caso sobre tensiones ontológico-epistemológicas

La modelización científica ofrece un caso especialmente ilustrativo para examinar las tensiones ontológicas y epistemológicas en la enseñanza experimental de las ciencias. Esta caracterización pone de relieve la ambigüedad ontológica de los modelos: ¿son representaciones de la realidad o ficciones útiles? La enseñanza de las ciencias contemporánea ha elevado el desarrollo y uso de modelos a la categoría de práctica científica central. Como explican Windschitl et al., "la modelización se centra en el proceso mediante el cual los científicos se representan mutuamente ideas sobre el mundo natural y, posteriormente, modifican colaborativamente estas representaciones a lo largo del tiempo en respuesta a nuevas evidencias" (2018). Esto genera tanto oportunidades como desafíos para abordar los fundamentos ontológicos y epistemológicos. Los modelos en la enseñanza de las ciencias cumplen múltiples propósitos: "describir, explicar y predecir fenómenos naturales, y comunicar ideas científicas" (Oh y Oh, 2011). Estos diferentes propósitos implican distintos compromisos ontológicos y epistemológicos. Los modelos descriptivos pueden funcionar como resúmenes de regularidades empíricas sin fuertes compromisos ontológicos. Los modelos explicativos suelen pretender representar mecanismos causales reales. Los modelos predictivos pueden evaluarse por su éxito instrumental sin asumir correspondencia con la realidad.

La enseñanza basada en modelos en ciencias experimentales revela los supuestos ontológicos implícitos que estructuran la práctica pedagógica. Cuando los estudiantes construyen modelos de fenómenos como la formación de nubes, la división celular o las reacciones químicas, ¿qué estatus ontológico se pretende que tengan estos modelos? Los distintos enfoques didácticos reflejan distintas respuestas. Un enfoque considera los modelos como representaciones simplificadas de entidades y procesos reales. Los estudiantes aprenden que los modelos son una simplificación y abstracción deliberada y orientada a la tarea de una

percepción de la realidad, donde la simplificación se justifica por la capacidad del modelo para capturar las características esenciales de los fenómenos reales.

Este enfoque mantiene una ontología realista: el modelo se refiere a estructuras genuinas de la naturaleza, aunque necesariamente omite algunos detalles. Como argumenta Giere (1999) a favor del *realismo perspectivista*, los modelos proporcionan un acceso parcial pero genuino a la realidad desde puntos de vista particulares. Otro enfoque destaca que los modelos son herramientas construidas para organizar la experiencia, más que representaciones de una realidad independiente de la mente. Esta perspectiva constructivista sostiene que "el propósito de los modelos científicos es describir, explicar y predecir fenómenos naturales" (Oh & Oh, 2011), sin presuponer que estos modelos se correspondan con la realidad subyacente. Los modelos se evalúan por su viabilidad (su capacidad para generar predicciones exitosas y explicaciones coherentes), más que por su correspondencia con una realidad independiente. Las implicaciones pedagógicas difieren significativamente. Un enfoque realista de la modelización justifica la evaluación de los modelos de los estudiantes según su capacidad para capturar mecanismos y estructuras causales reales. Un enfoque constructivista, en cambio, enfatiza la coherencia y la utilidad de los modelos dentro de contextos particulares.

La cuestión de cómo se validan los modelos en la enseñanza de las ciencias revela profundas tensiones epistemológicas. Los enfoques tradicionales enfatizan la comprobación empírica: los modelos se validan por su capacidad para predecir resultados experimentales. Esta epistemología empirista considera a los datos experimentales como el árbitro final de la idoneidad del modelo. Los estudiantes aprenden a construir modelos, derivar predicciones, realizar experimentos y revisarlos a partir de los resultados experimentales. Sin embargo, la filosofía de la ciencia contemporánea reconoce que la validación de modelos es más compleja. Como demuestran Blikstein et al. (2012) mediante el *modelado bifocal*, que reta a los estudiantes a diseñar, comparar y examinar las relaciones entre experimentos físicos y modelos

computacionales, el proceso de validación implica múltiples formas de razonamiento, no solo pruebas empíricas. Según este esquema los modelos deben evaluarse en cuanto a su coherencia interna, poder explicativo, alcance de aplicación y consistencia con marcos teóricos más amplios; criterios que no se reducen únicamente a la adecuación empírica.

Además, como establece la tesis Duhem-Quine, la comprobación empírica nunca confronta los modelos de forma aislada, sino únicamente en conjunto con supuestos auxiliares sobre los instrumentos, las condiciones iniciales y las teorías subyacentes. Cuando los resultados experimentales contradicen las predicciones del modelo, son posibles diversas respuestas: revisar el modelo, cuestionar la fiabilidad de los procedimientos experimentales, ajustar los supuestos auxiliares o limitar el ámbito de aplicación del modelo. La elección entre estas respuestas no puede determinarse únicamente mediante datos experimentales, sino que requiere un juicio teórico. Las complejidades ponen en entredicho la epistemología empirista implícita en gran parte de la enseñanza de las ciencias basada en modelos.

La enseñanza de modelos científicos suele enfatizar que los modelos funcionan a la perfección solo dentro de dominios específicos y que se pueden usar múltiples modelos para diferentes propósitos. Esta práctica pedagógica plantea importantes cuestiones ontológicas. Si distintos modelos del mismo fenómeno son útiles para diferentes propósitos, ¿qué implica esto sobre la relación entre los modelos y la realidad? Una interpretación mantiene el realismo ontológico al tiempo que reconoce el pluralismo epistemológico. La realidad posee múltiples aspectos y niveles de organización, y los distintos modelos capturan diferentes aspectos o resaltan diferentes niveles. Los modelos en ese caso son entendidos como representaciones idealizadas y/o simplificadas de la realidad que mantienen una relación de correspondencia no con la totalidad del objeto que modelan, sino solo una relación de aproximación con los aspectos del objeto que idealizan. Por ejemplo, la mecánica clásica, la mecánica relativista, y la mecánica cuántica ofrecen perspectivas diferentes pero complementarias sobre la realidad

física, cada una apropiada para distintas escalas y contextos. Esta postura sostiene que todos los modelos adecuados, en última instancia, se refieren a la misma realidad subyacente, aunque enfatizan características diferentes.

Quizás no exista una única representación correcta de la realidad; más bien, distintos modelos construyen diferentes realidades que resultan útiles para distintos propósitos. Esta postura, asociada a filósofos pragmatistas como Goodman (1978), cuestiona la suposición de una realidad única, independiente de la mente, a la espera de ser representada. En cambio, la justificación y la comprobación de las afirmaciones de conocimiento se realizan en relación con las acciones intencionales que se consideran que dichas afirmaciones respaldan (Le Moigne, 2001). Las implicaciones pedagógicas son significativas. Si los estudiantes aprenden que varios modelos incompatibles entre ellos pueden ser "correctos", empíricamente adecuados, para distintos propósitos, esto podría socavar la idea de que los modelos científicos buscan la verdad. Por otro lado, podría fomentar una comprensión más sofisticada del funcionamiento de la representación científica, una que reconozca tanto las limitaciones impuestas por la realidad como el papel de los propósitos y perspectivas humanas en la construcción de modelos (Campuzano-Vera et al., 2025).

Discusión

El análisis realizado hasta el momento ha documentado tensiones significativas entre los compromisos ontológicos implícitos en la enseñanza experimental tradicional de las ciencias y los supuestos epistemológicos inherentes a los enfoques pedagógicos constructivistas. Estas tensiones no son meros problemas filosóficos abstractos; tienen consecuencias concretas para el diseño curricular, la práctica docente y el aprendizaje del alumnado.

La conciencia filosófica de las implicaciones teóricas presente en la interacción entre teoría y realidad experimentada permite una mayor coherencia metodológica. Cuando los educadores articulan claramente sus compromisos ontológicos y epistemológicos, pueden diseñar enfoques didácticos que mantengan la coherencia interna. Como argumentan Monk y Osborne: "la historia y la filosofía de la ciencia deben tener una justificación que sea integral y coherente con los objetivos principales de los docentes" (1997). Sin dicha integración, las decisiones metodológicas pueden resultar contradictorias, transmitiendo mensajes divergentes sobre la naturaleza y la justificación del conocimiento científico.

La explicitud filosófica es además una herramienta que favorece la comprensión más sofisticada de la naturaleza de la ciencia. Diversas investigaciones demuestran que las creencias epistemológicas del profesorado influyen en la aplicación de sus enfoques pedagógicos y que el rendimiento estudiantil mejora cuando dichos enfoques abordan explícitamente cuestiones epistemológicas (Brownlee y Berthelsen, 2006). Como señalan Abd-El-Khalick y Akerson: "la inclusión de resultados de aprendizaje específicos debería implicar la reflexión sobre cuestiones relacionadas con el desarrollo, la validación y las características del conocimiento científico" (2009).

Hacer explícito los supuestos filosóficos permite igualmente un debate razonado y la mejora continua. Mientras los compromisos ontológicos y epistemológicos permanezcan implícitos, no podrán examinarse críticamente ni revisarse sistemáticamente. Hacer conscientes estos compromisos permite a la comunidad de la enseñanza de las ciencias evaluar su adecuación y considerar alternativas. Este proceso de examen crítico es, en sí mismo, un ejemplo de los valores científicos: el compromiso de cuestionar los supuestos y contrastar las ideas con la evidencia y la argumentación.

El *realismo crítico*, desarrollado por autores como Bhaskar (1978, 1998) y aplicado a las ciencias sociales por teóricos como Sayer (1992, 2000), ofrece un marco potencialmente

productivo para conciliar las tensiones ontológicas y epistemológicas en la enseñanza de las ciencias. El realismo crítico "aboga por una combinación de ontología realista y epistemología constructivista" (Sayer, 1992); sosteniendo que el mundo existe independientemente de nuestro conocimiento y que el conocimiento del mundo es siempre una construcción humana y social (Bhaskar, 1978). La postura del realismo crítico evita tanto el realismo ingenuo como el constructivismo radical. Frente al realismo ingenuo, reconoce que la objetividad completa es un ideal inalcanzable, y que los investigadores, al ser humanos, inevitablemente introducen sus valores, creencias y sesgos en el proceso de investigación. Frente al constructivismo radical, sostiene que la ontología no se reduce a la epistemología; es decir, el mundo es más de lo que podemos ver, ya que existe independientemente de nuestro conocimiento de él.

El realismo crítico distingue así entre la *dimensión transitiva* (nuestras teorías, modelos y conceptos) y la *dimensión intransitiva* (los objetos y estructuras reales que existen independientemente de nuestro conocimiento). Como ilustra Sayer: "no hay razón para creer que el paso de la teoría de la Tierra plana a la de la Tierra redonda estuviera acompañado de un cambio en la forma de la Tierra misma" (1992). Esta distinción permite que la enseñanza de las ciencias sostenga que el conocimiento científico se construye mediante la actividad humana, al tiempo que busca comprender la realidad independiente de la mente.

Además, la ontología estratificada del realismo crítico distingue entre el *dominio real* (mecanismos y estructuras causales subyacentes), el *dominio actual* (eventos y procesos que ocurren independientemente de si se observan o no) y el *dominio empírico* (lo que se experimenta y observa) (Bhaskar, 1978). Un marco de esta naturaleza ayuda a clarificar la relación entre las observaciones experimentales, los modelos teóricos y la realidad subyacente, proporcionando recursos conceptuales para abordar las limitaciones del empirismo ingenuo.

La adopción de fundamentos filosóficos explícitos tiene implicaciones concretas para el diseño curricular en la enseñanza experimental de las ciencias. Los materiales curriculares

deben abordar explícitamente el estatus ontológico de las entidades y los procesos científicos. En lugar de dejar que los estudiantes infieran si los genes, las fuerzas o los enlaces químicos son entidades reales o constructos teóricos útiles, la enseñanza debe abordar estas cuestiones directamente. Esto no significa imponer una postura filosófica particular, sino ayudar a los estudiantes a comprender que estas preguntas existen y que las diferentes respuestas tienen diferentes implicaciones. La enseñanza experimental afronta la tarea de distinguir explícitamente entre los diferentes tipos de afirmaciones científicas y los estándares de evidencia apropiados para cada una. Las afirmaciones sobre regularidades observables, explicaciones teóricas, mecanismos causales y leyes fundamentales implican diferentes compromisos epistemológicos y ontológicos, requiriendo diferentes formas de validación. Explicitar estas distinciones ayuda a los estudiantes a desarrollar una comprensión más sofisticada del razonamiento científico.

La enseñanza basada en modelos debe abordar explícitamente la relación entre los modelos y la realidad. Los estudiantes deben aprender que los modelos cumplen múltiples propósitos (descripción, explicación, predicción, comunicación), que diferentes propósitos pueden requerir diferentes modelos y que la idoneidad de un modelo no se reduce únicamente al ajuste empírico. También deben reflexionar sobre cuestiones filosóficas acerca de qué constituye un buen modelo y qué nos revelan los modelos sobre la realidad subyacente, cuando algo.

Los diseñadores de currículos deberían integrar estudios de caso históricos y filosóficos que aclaren las dimensiones ontológicas y epistemológicas de la práctica científica. Casos como el paso de la mecánica newtoniana a la relativista, el desarrollo de la teoría atómica o el surgimiento de la biología evolutiva ofrecen valiosas oportunidades para examinar cómo los supuestos ontológicos moldean la metodología científica y cómo las comunidades científicas abordan las cuestiones epistemológicas. Las prácticas de evaluación deben valorar no solo el

dominio del contenido científico por parte de los estudiantes, sino también su sofisticación epistemológica. Como argumenta Schraw (2013), comprender las creencias de los estudiantes sobre el origen y la adquisición del conocimiento es fundamental para evaluar los resultados del aprendizaje. La evaluación debe indagar en la comprensión que tienen los estudiantes sobre cómo se justifica el conocimiento científico, qué se considera evidencia, y cómo se resuelven las controversias en la comunidad científica.

Los fundamentos filosóficos de la metodología de la enseñanza de las ciencias tienen importantes implicaciones para la formación docente y el desarrollo profesional. La investigación demuestra que "las creencias epistemológicas y ontológicas de los docentes parecen estar estrechamente vinculadas y reflejan su conocimiento y visión del mundo de la enseñanza" (Garner & Kaplan, 2019). Sin embargo, la mayoría de los programas de formación docente prestan poca atención sistemática a los fundamentos filosóficos. La formación docente debe abordar explícitamente los supuestos ontológicos y epistemológicos que subyacen a los diferentes enfoques pedagógicos. Los futuros docentes necesitan oportunidades para examinar sus propios compromisos filosóficos, comprender cómo estos compromisos moldean las decisiones pedagógicas y desarrollar la capacidad de reflexión filosófica sobre la práctica. Como demuestran Brownlee y Berthelsen "las creencias epistemológicas de los docentes afectan la implementación de sus enfoques pedagógicos" (2006), lo que hace que la conciencia filosófica sea esencial para una enseñanza eficaz.

El desarrollo profesional debe apoyar a los docentes en ejercicio para que expliciten los supuestos filosóficos implícitos en su práctica actual. Esto implica crear espacios para el análisis colaborativo de las dimensiones ontológicas y epistemológicas de actividades didácticas específicas, materiales curriculares y prácticas de evaluación. Los docentes necesitan apoyo para reconocer las tensiones filosóficas cuando surgen y para desarrollar respuestas coherentes basadas en compromisos explícitos.

Además, los formadores de docentes y los profesionales del desarrollo profesional necesitan una fundamentación filosófica más profunda. El análisis presentado en este artículo sugiere que muchos educadores científicos podrían no ser conscientes de las tensiones filosóficas presentes en su propia práctica. Para fortalecer las capacidades de la comunidad de la enseñanza de las ciencias, es necesario prestar atención sistemática a los fundamentos filosóficos en los programas de posgrado, las publicaciones de investigación y las oportunidades de desarrollo profesional (Tamayo-Verdezoto, 2025).

Queda una cuestión práctica fundamental: ¿Es posible conciliar el realismo científico sobre los objetos de investigación con el constructivismo pedagógico sobre el proceso de aprendizaje? La respuesta parece ser afirmativa, siempre que dicha conciliación se articule cuidadosamente.

El realismo crítico ofrece una vía para avanzar al distinguir entre afirmaciones ontológicas (sobre lo que existe) y afirmaciones epistemológicas (sobre cómo se adquiere el conocimiento). Se puede sostener que los electrones, los genes y los enlaces químicos existen independientemente de la cognición humana, o a lo mínimo que estas entidades teóricas están sustentadas por algún fenómeno o entidad realmente existente (realismo ontológico) y, al mismo tiempo, afirmar que la comprensión que tienen los estudiantes de estas entidades se construye activamente mediante la interacción con los fenómenos, el diálogo con otros y la integración con conocimientos previos (constructivismo epistemológico).

La aplicación pedagógica del realismo crítico consiste en que la instrucción puede reconocer a los estudiantes como constructores activos del conocimiento, manteniendo que el objetivo de esta construcción es una comprensión cada vez más adecuada de la realidad independiente de la mente. Los criterios de "adecuación" incluyen no solo la coherencia y viabilidad internas, sino también la correspondencia con el funcionamiento real de la

naturaleza, tal como se revela mediante la investigación experimental, la aplicación tecnológica y la coherencia teórica.

Esta reconciliación exige reconocer tanto los logros como las limitaciones del conocimiento científico. La ciencia proporciona una comprensión cada vez más adecuada de los fenómenos naturales, como lo demuestran su éxito tecnológico y su capacidad predictiva. Sin embargo, esta comprensión es siempre provisional, parcial e incompleta. Los modelos científicos representan la realidad desde puntos de vista particulares y con fines específicos; no ofrecen un acceso completo y directo a la "totalidad de la realidad" (Giere, 1999).

Desde el punto de vista pedagógico, esto significa enseñar ciencia como un proceso de construcción de representaciones cada vez más adecuadas de una realidad independiente de la mente que limita, pero no determina nuestras representaciones de ella. Los estudiantes aprenden que sus modelos y teorías se construyen, pero no arbitrariamente: deben responder a la evidencia, ser coherentes con marcos teórico-compatibles con otras teorías que cuenten con amplia aceptación en la comunidad científica y demostrar su viabilidad práctica; además de ser una aproximación cada más pertinente a la dimensión intransitiva (Seyer) y al dominio actual (Bashkar) que corresponden con la realidad externa.

Conclusión

El análisis realizado hasta el momento ha documentado tensiones significativas entre los compromisos ontológicos implícitos en la enseñanza experimental tradicional de las ciencias y los supuestos epistemológicos inherentes a los enfoques pedagógicos constructivistas. Estas tensiones no son meros problemas filosóficos abstractos; tienen consecuencias concretas para el diseño curricular, la práctica docente y el aprendizaje del alumnado.

La conciencia filosófica de las implicaciones teóricas presente en la interacción entre teoría y realidad experimentada permite una mayor coherencia metodológica. Cuando los educadores articulan claramente sus compromisos ontológicos y epistemológicos, pueden diseñar enfoques didácticos que mantengan la coherencia interna. Como argumentan Monk y Osborne: "la historia y la filosofía de la ciencia deben tener una justificación que sea integral y coherente con los objetivos principales de los docentes" (1997). Sin dicha integración, las decisiones metodológicas pueden resultar contradictorias, transmitiendo mensajes divergentes sobre la naturaleza y la justificación del conocimiento científico.

La explicitud filosófica es además una herramienta que favorece la comprensión más sofisticada de la naturaleza de la ciencia. Diversas investigaciones demuestran que las creencias epistemológicas del profesorado influyen en la aplicación de sus enfoques pedagógicos y que el rendimiento estudiantil mejora cuando dichos enfoques abordan explícitamente cuestiones epistemológicas (Brownlee y Berthelsen, 2006). Como señalan Abd-El-Khalick y Akerson: "la inclusión de resultados de aprendizaje específicos debería implicar la reflexión sobre cuestiones relacionadas con el desarrollo, la validación y las características del conocimiento científico" (2009).

Hacer explícito los supuestos filosóficos permite igualmente un debate razonado y la mejora continua. Mientras los compromisos ontológicos y epistemológicos permanezcan implícitos, no podrán examinarse críticamente ni revisarse sistemáticamente. Hacer conscientes estos compromisos permite a la comunidad de la enseñanza de las ciencias evaluar su adecuación y considerar alternativas. Este proceso de examen crítico es, en sí mismo, un ejemplo de los valores científicos: el compromiso de cuestionar los supuestos y contrastar las ideas con la evidencia y la argumentación.

El *realismo crítico*, desarrollado por autores como Bhaskar (1978, 1998) y aplicado a las ciencias sociales por teóricos como Sayer (1992, 2000), ofrece un marco potencialmente

productivo para conciliar las tensiones ontológicas y epistemológicas en la enseñanza de las ciencias. El realismo crítico "aboga por una combinación de ontología realista y epistemología constructivista" (Sayer, 1992); sosteniendo que el mundo existe independientemente de nuestro conocimiento y que el conocimiento del mundo es siempre una construcción humana y social (Bhaskar, 1978). La postura del realismo crítico evita tanto el realismo ingenuo como el constructivismo radical. Frente al realismo ingenuo, reconoce que la objetividad completa es un ideal inalcanzable, y que los investigadores, al ser humanos, inevitablemente introducen sus valores, creencias y sesgos en el proceso de investigación. Frente al constructivismo radical, sostiene que la ontología no se reduce a la epistemología; es decir, el mundo es más de lo que podemos ver, ya que existe independientemente de nuestro conocimiento de él.

El realismo crítico distingue así entre la *dimensión transitiva* (nuestras teorías, modelos y conceptos) y la *dimensión intransitiva* (los objetos y estructuras reales que existen independientemente de nuestro conocimiento). Como ilustra Sayer: "no hay razón para creer que el paso de la teoría de la Tierra plana a la de la Tierra redonda estuviera acompañado de un cambio en la forma de la Tierra misma" (1992). Esta distinción permite que la enseñanza de las ciencias sostenga que el conocimiento científico se construye mediante la actividad humana, al tiempo que busca comprender la realidad independiente de la mente.

Además, la ontología estratificada del realismo crítico distingue entre el *dominio real* (mecanismos y estructuras causales subyacentes), el *dominio actual* (eventos y procesos que ocurren independientemente de si se observan o no) y el *dominio empírico* (lo que se experimenta y observa) (Bhaskar, 1978). Un marco de esta naturaleza ayuda a clarificar la relación entre las observaciones experimentales, los modelos teóricos y la realidad subyacente, proporcionando recursos conceptuales para abordar las limitaciones del empirismo ingenuo.

La adopción de fundamentos filosóficos explícitos tiene implicaciones concretas para el diseño curricular en la enseñanza experimental de las ciencias. Los materiales curriculares

deben abordar explícitamente el estatus ontológico de las entidades y los procesos científicos. En lugar de dejar que los estudiantes infieran si los genes, las fuerzas o los enlaces químicos son entidades reales o constructos teóricos útiles, la enseñanza debe abordar estas cuestiones directamente. Esto no significa imponer una postura filosófica particular, sino ayudar a los estudiantes a comprender que estas preguntas existen y que las diferentes respuestas tienen diferentes implicaciones. La enseñanza experimental afronta la tarea de distinguir explícitamente entre los diferentes tipos de afirmaciones científicas y los estándares de evidencia apropiados para cada una. Las afirmaciones sobre regularidades observables, explicaciones teóricas, mecanismos causales y leyes fundamentales implican diferentes compromisos epistemológicos y ontológicos, requiriendo diferentes formas de validación. Explicitar estas distinciones ayuda a los estudiantes a desarrollar una comprensión más sofisticada del razonamiento científico.

La enseñanza basada en modelos debe abordar explícitamente la relación entre los modelos y la realidad. Los estudiantes deben aprender que los modelos cumplen múltiples propósitos (descripción, explicación, predicción, comunicación), que diferentes propósitos pueden requerir diferentes modelos y que la idoneidad de un modelo no se reduce únicamente al ajuste empírico. También deben reflexionar sobre cuestiones filosóficas acerca de qué constituye un buen modelo y qué nos revelan los modelos sobre la realidad subyacente, cuando algo.

Los diseñadores de currículos deberían integrar estudios de caso históricos y filosóficos que aclaren las dimensiones ontológicas y epistemológicas de la práctica científica. Casos como el paso de la mecánica newtoniana a la relativista, el desarrollo de la teoría atómica o el surgimiento de la biología evolutiva ofrecen valiosas oportunidades para examinar cómo los supuestos ontológicos moldean la metodología científica y cómo las comunidades científicas abordan las cuestiones epistemológicas. Las prácticas de evaluación deben valorar no solo el

dominio del contenido científico por parte de los estudiantes, sino también su sofisticación epistemológica. Como argumenta Schraw (2013), comprender las creencias de los estudiantes sobre el origen y la adquisición del conocimiento es fundamental para evaluar los resultados del aprendizaje. La evaluación debe indagar en la comprensión que tienen los estudiantes sobre cómo se justifica el conocimiento científico, qué se considera evidencia, y cómo se resuelven las controversias en la comunidad científica.

Los fundamentos filosóficos de la metodología de la enseñanza de las ciencias tienen importantes implicaciones para la formación docente y el desarrollo profesional. La investigación demuestra que "las creencias epistemológicas y ontológicas de los docentes parecen estar estrechamente vinculadas y reflejan su conocimiento y visión del mundo de la enseñanza" (Garner & Kaplan, 2019). Sin embargo, la mayoría de los programas de formación docente prestan poca atención sistemática a los fundamentos filosóficos. La formación docente debe abordar explícitamente los supuestos ontológicos y epistemológicos que subyacen a los diferentes enfoques pedagógicos. Los futuros docentes necesitan oportunidades para examinar sus propios compromisos filosóficos, comprender cómo estos compromisos moldean las decisiones pedagógicas y desarrollar la capacidad de reflexión filosófica sobre la práctica. Como demuestran Brownlee y Berthelsen "las creencias epistemológicas de los docentes afectan la implementación de sus enfoques pedagógicos" (2006), lo que hace que la conciencia filosófica sea esencial para una enseñanza eficaz.

El desarrollo profesional debe apoyar a los docentes en ejercicio para que expliciten los supuestos filosóficos implícitos en su práctica actual. Esto implica crear espacios para el análisis colaborativo de las dimensiones ontológicas y epistemológicas de actividades didácticas específicas, materiales curriculares y prácticas de evaluación. Los docentes necesitan apoyo para reconocer las tensiones filosóficas cuando surgen y para desarrollar respuestas coherentes basadas en compromisos explícitos.

Además, los formadores de docentes y los profesionales del desarrollo profesional necesitan una fundamentación filosófica más profunda. El análisis presentado en este artículo sugiere que muchos educadores científicos podrían no ser conscientes de las tensiones filosóficas presentes en su propia práctica. Para fortalecer las capacidades de la comunidad de la enseñanza de las ciencias, es necesario prestar atención sistemática a los fundamentos filosóficos en los programas de posgrado, las publicaciones de investigación y las oportunidades de desarrollo profesional.

Queda una cuestión práctica fundamental: ¿Es posible conciliar el realismo científico sobre los objetos de investigación con el constructivismo pedagógico sobre el proceso de aprendizaje? La respuesta parece ser afirmativa, siempre que dicha conciliación se articule cuidadosamente.

El realismo crítico ofrece una vía para avanzar al distinguir entre afirmaciones ontológicas (sobre lo que existe) y afirmaciones epistemológicas (sobre cómo se adquiere el conocimiento). Se puede sostener que los electrones, los genes y los enlaces químicos existen independientemente de la cognición humana, o a lo mínimo que estas entidades teóricas están sustentadas por algún fenómeno o entidad realmente existente (realismo ontológico) y, al mismo tiempo, afirmar que la comprensión que tienen los estudiantes de estas entidades se construye activamente mediante la interacción con los fenómenos, el diálogo con otros y la integración con conocimientos previos (constructivismo epistemológico).

La aplicación pedagógica del realismo crítico consiste en que la instrucción puede reconocer a los estudiantes como constructores activos del conocimiento, manteniendo que el objetivo de esta construcción es una comprensión cada vez más adecuada de la realidad independiente de la mente. Los criterios de "adecuación" incluyen no solo la coherencia y viabilidad internas, sino también la correspondencia con el funcionamiento real de la

naturaleza, tal como se revela mediante la investigación experimental, la aplicación tecnológica y la coherencia teórica.

Esta reconciliación exige reconocer tanto los logros como las limitaciones del conocimiento científico. La ciencia proporciona una comprensión cada vez más adecuada de los fenómenos naturales, como lo demuestran su éxito tecnológico y su capacidad predictiva. Sin embargo, esta comprensión es siempre provisional, parcial e incompleta. Los modelos científicos representan la realidad desde puntos de vista particulares y con fines específicos; no ofrecen un acceso completo y directo a la "totalidad de la realidad" (Giere, 1999).

Desde el punto de vista pedagógico, esto significa enseñar ciencia como un proceso de construcción de representaciones cada vez más adecuadas de una realidad independiente de la mente que limita, pero no determina nuestras representaciones de ella. Los estudiantes aprenden que sus modelos y teorías se construyen, pero no arbitrariamente: deben responder a la evidencia, ser coherentes con marcos teórico-compatibles con otras teorías que cuenten con amplia aceptación en la comunidad científica y demostrar su viabilidad práctica; además de ser una aproximación cada más pertinente a la dimensión intransitiva (Seyer) y al dominio actual (Bhaskar) que corresponden con la realidad externa.

Referencias bibliográficas

- Abd-El-Khalick, F., & Akerson, V. (2009). The influence of metacognitive training on preservice elementary teachers' conceptions of nature of science. *International Journal of Science Education*, 31(16), 2161-2184. <https://doi.org/10.1080/09500690802563324>
- Al-Ababneh, M. (2020). Linking ontology, epistemology and research methodology. *Science & Philosophy*, 8(1), 75-91. <https://doi.org/10.23756/sp.v8i1.500>
- Bhaskar, R. (1978). *A realist theory of science*. Leeds Books.
- Bhaskar, R. (1998). *The possibility of naturalism: A philosophical critique of the contemporary human sciences* (3rd ed.). Routledge.
- Blikstein, P., Abrahamson, D., & Wilensky, U. (2012). Bifocal modeling: A framework for combining computer models, physical materials and representations in science learning.

Journal of Science Education and Technology, 21, 1-18.

Blumer, H. (1969). *Symbolic interactionism: Perspective and method*. Prentice-Hall.

Brownlee, J., & Berthelsen, D. (2006). Personal epistemology and relational pedagogy in early childhood teacher education programs. *Early Years*, 26(1), 17-29.
<https://doi.org/10.1080/09575140500507785>

Campuzano-Vera, S. E., Alcazar-Espinoza, J. A., Alcazar-Campuzano, M. Z., & Alcazar-Campuzano, J. A. (2025). Transformación de hábitos y actitudes ambientales mediante programas formativos integrales. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(3), 416-427.
<https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n3/84>

Capanaro, R. (2012). "Constructivism". In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the sciences of learning*. Springer.

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education* (6th ed.). Routledge.

Crane, H. R. (1976). The role of experiments in the physical science curriculum. *American Journal of Physics*, 44(1), 63-67.

Crotty, M. (1998). *The foundations of social research: Meaning and perspective in the research process*. Sage Publications.

Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Scott, P., & Mortimer, E. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.

Garner, J. K., & Kaplan, A. (2019). A complex dynamic systems perspective on teacher learning and identity formation: An instrumental case. *Teachers and Teaching*, 25(1), 7-33.

Giere, R. N. (1999). *Science without laws*. University of Chicago Press.

Glaserfeld, E. von (1984). An introduction to radical constructivism. In P. Watzlawick (Ed.), *The invented reality* (pp. 17-40). W. W. Norton.

Glaserfeld, E. von (1993). Questions and answers about radical constructivism. In K. Tobin (Ed.), *The practice of constructivism in science education* (pp. 23-38). Lawrence Erlbaum Associates.

Glaserfeld, E. von (2005). Thirty years radical constructivism. *Constructivist Foundations*, 1(1), 9-12.

Gonzalez-Ordoñez, M. M., Gonzalez-Sare, G. Y., Minuche-Sánchez, J. E., Mendoza-Villacís, G. P., & Quisay-Vera, L. A. (2025). Impacto del acompañamiento integral del aula en el rendimiento académico de estudiantes de educación básica superior. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(3), 295-308.
<https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n3/77>

Goodman, N. (1978). *Ways of worldmaking*. Hackett Publishing Company.

Guba, E. G. (1990). The alternative paradigm dialog. In E. G. Guba (Ed.), *The paradigm dialog* (pp. 17-30). Sage Publications.

Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1989). *Fourth generation evaluation*. Sage Publications.

Kincheloe, J. L. (2008). *Critical constructivism primer*. Peter Lang.

- Kitcher, P. (2001). *Science, truth, and democracy*. Oxford University Press.
- Le Moigne, J.-L. (2001). Constructivist epistemology. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International encyclopedia of the social and behavioral sciences*. Pergamon.
- Mack, L. (2014). Philosophy and methodology: Paradigm and praxis. *Higher Education Pedagogies*, 1(1), 23-45.
- Matthews, M. R. (1997). Introductory comments on philosophy and constructivism in science education. *Science & Education*, 6, 5-14.
- Matthews, M. R. (2003). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Routledge.
- Matthews, M. R. (2014). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. Springer.
- Monk, M., & Osborne, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81(4), 405-424.
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.
- Patel, S. (2019). Research paradigms in educational research. In M. L. Bertucci (Ed.), *International encyclopedia of science education* (2nd ed.). Springer.
- Popper, K. R. (1963). *Conjectures and refutations: The growth of scientific knowledge*. Routledge.
- Samueza-Umaquinga, M. C., Medina-Macas, L. H., Padilla-Sevillano, J. A., Lema-Pillajo, D. A., & Miranda-Asto, V. R. (2025). El impacto del Diseño Universal para el Aprendizaje en la implementación de metodologías activas con apoyo tecnológico. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(4), 41-53. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/91>
- Sayer, A. (1992). *Method in social science: A realist approach* (2nd ed.). Routledge.
- Sayer, A. (2000). *Realism and social science*. Sage Publications.
- Schraw, G. (2013). Conceptual integration and measurement of epistemological and ontological beliefs in educational research. *ISRN Education*, 2013, 1-19.
- Tamayo-Verdezoto, J. J. (2025). Los rezagos de la educación tradicional en los momentos actuales en el Ecuador: Una educación carcelaria dentro de las instituciones educativas. *Journal of Economic and Social Science Research*, 5(1), 131-145. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v5/n1/165>
- Wellington, J. (2000). *Educational research: Contemporary issues and practical approaches*. Continuum.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2018). *Ambitious science teaching*. Harvard Education Press