



Fotografía
Edgar Orlay Valbuena Ussa

UN MODELO DIDÁCTICO PARA LA BIOLOGÍA

A Didactic Model for Biology

Um modelo didático para Biologia

Rosaura Ruiz Gutiérrez* 
 Ma. Cristina Hernández Rodríguez** 
 Ricardo Noguera Solano*** 

Fecha de recepción: 08 de agosto de 2022
 Fecha de aprobación: 11 de marzo de 2023

Cómo citar

Ruiz Gutiérrez, R., Hernández Rodríguez, M. C. y Noguera Solano, R. (2023). Un modelo didáctico para la biología. *Bio-grafía*, 16(31), 72-85. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.16.num31-19850>

Resumen

En este artículo de revisión se propone un modelo didáctico para la biología, que busca ampliar el marco de análisis del proceso de enseñanza y aprendizaje de esta disciplina; de esta forma, se señalan las múltiples variables que intervienen en el proceso didáctico y se promueve el debate y la reflexión sobre las diversas necesidades de formación de los profesores de este campo de conocimiento. Adicionalmente, se retoma el enfoque de núcleos problemáticos que explica las causas de las dificultades que existen en la comprensión de conceptos y teorías biológicas fundamentales y se plantea un conjunto de referentes fundamentados en diversos saberes, así como criterios y dimensiones que se conjugan en la interacción didáctica, buscando apuntalar la investigación y la transposición didáctica. El conjunto de referentes disciplinarios, pedagógicos, didácticos, históricos, filosóficos, bioéticos y sociales incluidos en el modelo tiene el propósito de orientar la investigación en el área de la enseñanza de la biología y fundamentar programas de formación docente que ayuden a los profesores a considerar las múltiples variables que intervienen en la construcción y comprensión del conocimiento biológico..

Palabras clave: profesores; biología; enseñanza; aprendizaje

Abstract

This review article proposes a didactic model for Biology, aiming to expand the framework of analysis in the teaching and learning process in this discipline. In this way, we point out the multiple variables involved in the didactic process, promoting debate and reflection on the diverse training needs of teachers in this field of knowledge. Additionally, we revisit the problematic cores approach, which explains the causes of difficulties in understanding fundamental biological concepts and theories. We propose a set of benchmarks grounded in diverse fields of knowledge, as well as criteria and dimensions that combine in the didactic interaction, seeking to underpin research and didactic transposition. The set of disciplinary, pedagogical, didactic, historical, philosophical, bioethical, and social benchmarks included in the model aims to guide research in biology teaching and provide the foundation for

* Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: rosaura@ciencias.unam.mx

** Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: cristinahr61@yahoo.com.mx

*** Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: rns@ciencias.unam.mx

teacher training programs that assist teachers in considering the multiple variables involved in the construction and understanding of biological knowledge.

Keywords: professors; biology; teaching; learning

Resumo

Neste artigo de revisão, propõe-se um modelo didático para a Biologia, que busca ampliar o quadro de análise do processo de ensino e aprendizagem dessa disciplina. Desta forma, são destacadas as múltiplas variáveis que intervêm no processo didático e promove-se o debate e a reflexão sobre as diversas necessidades de formação dos professores nesse campo de conhecimento. Além disso, retoma-se a abordagem de núcleos problemáticos, que explica as causas das dificuldades na compreensão de conceitos e teorias biológicas fundamentais. Apresenta-se um conjunto de referências fundamentadas em diversos saberes, bem como critérios e dimensões que se conjugam na interação didática, buscando fortalecer a pesquisa e a transposição didática. O conjunto de referências disciplinares, pedagógicas, didáticas, históricas, filosóficas, bioéticas e sociais incluídas no modelo tem o propósito de orientar a pesquisa na área do ensino de biologia e fundamentar programas de formação de professores que auxiliem os docentes a considerar as múltiplas variáveis que intervêm na construção e compreensão do conhecimento biológico.

Palavras-chave: professores; biologia; ensino; aprendizagem



Introducción

En la actualidad, la comprensión del conocimiento científico es fundamental para el desarrollo de las sociedades; los problemas científicos socialmente relevantes, como el cambio climático; el desarrollo de alimentos modificados genéticamente; el uso de células troncales que provienen de células embrionarias fabricadas de manera artificial; el surgimiento de pandemias como la del SARS-COV-2; la generación de vacunas y las medidas que deben generarse para la protección de la salud, la alimentación o el ambiente; entre muchos otros, impactan a los seres humanos y al medio natural en su conjunto (Pedrinaci, 2006; Archila *et al.*, 2021; Ke *et al.*, 2021; Maia *et al.*, 2021). Todos estos problemas están vinculados con el quehacer de la biología.

En los últimos años, el desarrollo vertiginoso de esta ciencia reflejado en los avances de disciplinas como la biología molecular y la genómica han derivado en un conocimiento profundo del DNA, así como en el desarrollo de nuevas tecnologías para la manipulación de genes en plantas y animales, que tiene aplicaciones importantes en medicina, agricultura y ganadería. El cambio climático y el efecto de las actividades humanas en nuestro planeta resaltan la necesidad de conocer los factores que lo ocasionan y las medidas que los ciudadanos podemos tomar para contrarrestarlos (Jiménez García *et al.*, 2010). Otros campos como la biología evolutiva, por ejemplo, han transformado no solo la historia de la biología y de otras muchas ciencias, sino también nuestra visión del mundo y el papel de los seres humanos en la naturaleza (Hernández Rodríguez *et al.*, 2009; Ruiz *et al.*, 2012). Sus teorías y conceptos nos ayudan a comprender cómo se originan, se mantienen y se extinguen las especies, lo que nos permite tomar decisiones para conservar la diversidad del planeta. En este momento, entonces, la comprensión de este conjunto de fenómenos complejos y de muchos otros de relevancia social es crucial, por lo que el fortalecimiento de la formación en ciencias de los ciudadanos se convierte en una necesidad impostergable (Archila, *et al.* 2021; Maia *et al.*, 2021).

Uno de los temas de mayor interés en el ámbito educativo se ha centrado justamente en este tema. Los expertos en estos campos destacan la importancia de que las personas conozcan y comprendan las distintas disciplinas científicas, así que analizan la problemática que existe en torno a su enseñanza y aprendizaje (Benito, 2009; Campanario y Moya, 1999; Jiménez Aleixandre, 2003; Matthews, 2017; Bašnáková *et al.*, 2021). Algunos

autores como Meinardi (2010) sostienen que hasta hace algunos años la enseñanza de la ciencia en la educación básica y media superior era considerada como una etapa propedéutica para la formación universitaria y la selección de contenidos estaba orientada a constituir la base para los estudios superiores, sin embargo, es necesario tener presente que pocos estudiantes ingresan a estudios superiores y la gran mayoría de ellos no ingresan a carreras científicas. Por tanto, no parece muy adecuado diseñar un currículo de ciencias enfocado a las necesidades de una minoría y seleccionar contenidos orientados a que los estudiantes le encuentren sentido más adelante.

La formación científica para la ciudadanía no se contraponen con la preparación de futuros científicos, por el contrario, puede promover un mayor acercamiento de niños y jóvenes a la ciencia (Meinardi, 2010). Sumado a ello, se reconoce que los conocimientos científicos se generan y se convierten en necesarios en diferentes contextos y un gran número de conceptos y destrezas han pasado al lenguaje común (Matthews, 2017). Los factores que fundamentan la necesaria formación en ciencias de los ciudadanos se centran en que las disciplinas científicas nos ofrecen diversas formas de percibir y explicar el mundo que nos rodea; el conocimiento derivado en cada una de ellas puede utilizarse en la solución de problemas relevantes para la sociedad; también fomentan el desarrollo de capacidades cognitivas como la solución de problemas, la interpretación de fenómenos naturales, el procesamiento y evaluación de la información, entre otros aspectos (Pedrinaci, 2006; Gallego *et al.*, 2009; Ke *et al.*, 2021). Por ello, no es posible reservar la cultura científica a una élite, es fundamental que grandes sectores sociales tengan acceso al conocimiento científico (Meinardi, 2010; Matthews, 2017; Davidson *et al.*, 2021).

Desde esta perspectiva, en este trabajo se plantea un modelo didáctico para la biología, que resalta múltiples variables y dimensiones que intervienen en el proceso de enseñanza y aprendizaje de esta disciplina. Este modelo ha sido resultado de la reflexión e investigación de estos temas en el campo de la biología evolutiva. En su construcción partimos de la consideración de que distintos campos del saber interactúan en el proceso didáctico y que cada uno nos ofrece distintas maneras de leer y entender el complejo proceso de enseñar y aprender biología; que estos se nutren y enriquecen y que un abordaje transdisciplinario nos permitirá establecer criterios y referentes que apunten la investigación didáctica y la formación de docentes de este campo de conocimiento.

Problemas para enseñar y aprender biología

Diversos autores sostienen que existe una crisis en la educación en ciencias (Campanario y Moya, 1999; Benito, 2009) y que los niveles de alfabetismo científico son perturbadoramente bajos; investigaciones desarrolladas con los resultados de PISA (Programme for International Student Assessment) han mostrado una clara relación entre las horas dedicadas a las lecciones de ciencia y los bajos niveles de alfabetización científica (Kobarg *et al.*, 2011, sumado al hecho de que los alumnos y los maestros están desertando de esta actividad pese a que la ciencia ha impactado enormemente en nuestras sociedades tanto en ámbitos culturales como naturales (Matthews, 2017). En este mismo sentido, Meinardi (2010) considera que son pocos los estudiantes que ingresan a estudios superiores y que la gran mayoría de ellos no eligen carreras científicas, debido a que existe la percepción de que son disciplinas difíciles y con pocas opciones laborales.

Otros estudios muestran que existe una compleja problemática en torno a la enseñanza y aprendizaje de diversos campos científicos, incluyendo a la biología (Giordan, 1987; Jolly y Strawitz, 1984; Tsybulsky, 2020). Se ha reportado que los estudiantes enfrentan varios desafíos al intentar comprender teorías y conceptos fundamentales, como es el caso de la biología evolutiva (Brumby, 1979, 1984; Bishop y Anderson, 1990; M. C. Hernández Rodríguez *et al.*, 2009; Álvarez Pérez y Ruiz, 2015; Kampourakis y Zogza, 2007; Jiménez Aleixandre, 2002). Estos desafíos incluyen superar sus ideas previas, aceptar nuevas concepciones y aplicarlas en condiciones comunes (Campanario y Moya, 1999). La situación de los profesores tampoco es mejor, ya que en muchos casos encuentran insuficientes resultados en su práctica docente (Benito, 2009; Becerra *et al.*, 2023). En la literatura especializada se reporta también que las ideas incorrectas de los profesores sobre la naturaleza de la ciencia y sobre conocimiento evolutivo, por ejemplo, no distan mucho de las ideas de los alumnos (Jiménez Aleixandre, 1994; Cofré *et al.*, 2020). Estas se ven reflejadas en afirmaciones tales como “las teorías son convertidas en hechos”, “las mutaciones son dañinas y no podría haber dado paso a nuevas características”, “los seres humanos y dinosaurios coexistieron” (Nehm y Schonfeld, 2007, p. 705.).

Son diversos los factores que han originado esta crisis, entre los más relevantes encontramos los siguientes: la enseñanza de la ciencia generalmente está basada en visiones limitadas de la actividad científica; el diseño de currículum y la selección de temas no siempre son sig-

nificativos para los estudiantes; existen deficiencias en la formación disciplinaria, psicopedagógica y didáctica de los docentes; es común que los enfoques didácticos empleados no tomen en cuenta la naturaleza de las estrategias de razonamiento y solución de los problemas propios de la ciencia; la falta de condiciones adecuadas de estudio y de trabajo tanto para estudiantes como profesores.

La formación por competencias

Ante la necesidad de que las personas logren una adecuada comprensión del conocimiento científico, se han generado nuevas concepciones y abordajes pedagógicos que buscan responder a las necesidades de formación que requieren los ciudadanos del siglo XXI. Una de estas aproximaciones se refiere a que la escuela debe promover el desarrollo de diversas competencias, entre ellas, las competencias científicas. Esto implica generar nuevas formas de ser profesor, de concebir el contenido, el currículo, el desarrollo de nuevas estrategias, recursos didácticos y criterios de evaluación que se asienten de manera sólida en una reflexión sobre cómo la ciencia constituye una actividad que permite la comprensión de nuestro entorno, de la sociedad y de nosotros mismos (Adúriz-Bravo *et al.*, 2012). Aun cuando el concepto de competencia científica no está ajeno a polémicas y discusiones, coincidimos con Aduriz-Bravo (2012) cuando plantea que un concepto general de competencia puede entenderse como un conjunto de capacidades y saberes que permiten actuar e interactuar significativamente en determinados contextos.

El conocido programa PISA, desarrollado por la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), ha establecido un conjunto de definiciones sobre lo que representa una competencia científica. En estas se resalta la importancia de que los ciudadanos no solo comprendan el mundo natural y la naturaleza de la ciencia, sino que también se promueva su capacidad para aplicar el conocimiento y los procesos científicos en contextos específicos. Esto les permite participar en la toma de decisiones tanto científicas como socialmente responsables.

De este modo, la aproximación por competencias replantea el tema de la formación científica de los aprendices, ya que esta implica no solo la comprensión de teorías y conceptos, sino de manera fundamental, el desarrollo de habilidades científicas, como la capacidad de resolver problemas, la interpretación de fenómenos naturales, el procesamiento y evaluación de la información, la interpretación de fenómenos y su aplicación en contextos específicos; desmitifica las imágenes de la ciencia y

los científicos tradicionales y busca tanto la comprensión y aplicación de los saberes construidos por las distintas disciplinas, como la movilización y la acción de los sujetos en la sociedad, de tal modo que trascienda lo propiamente disciplinar e integre y genere saberes, procedimientos, actitudes y valores. Desde esta perspectiva, el debate sobre si la formación científica debe ser para todos o solo para los que se encaminan a carreras científicas también se replantea, ya que las competencias necesarias para hacer ciencia y las que son deseables para la ciudadanía del siglo *xxi*, independientemente del papel social que jueguen los distintos destinatarios no son excluyentes, pues contienen elementos comunes que buscan preparar a las personas para estar científicamente alfabetizadas; esto significa formar ciudadanos que comprendan cómo la ciencia explica y transforma el mundo que los rodea, y que además piensen, actúen, se comuniquen y tomen decisiones (Adúriz-Bravo, 2012).

Este enfoque, como sostiene Izquierdo-Aymerich (2007), requiere de una sólida ciencia escolar que sirva para la vida, que transforme las aulas de ciencia en espacios donde los aprendices construyan modelos científicos escolares que les permitan comprender los fenómenos naturales, intervenir en ellos y analizar sus procesos y resultados. Dichos modelos científicos escolares, aunque comparten el propósito de resolver problemas genuinos y emplean conocimientos y valores comunes, difieren de los eruditos en tanto que los sujetos cognitivos (científicos y aprendices) tienen finalidades históricas y sociales particulares y desarrollan sus actividades en contextos distintos. De este modo, los modelos construidos por los aprendices son diferentes de los elaborados por los científicos, sin embargo, lo que la ciencia escolar debe promover es la incorporación paulatina del conocimiento consensuado por las comunidades científicas y de construir modelos de ciencia escolar (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009). El reto para la ciencia escolar, entonces, es proponer saberes y problemas de interés para los estudiantes, tomar en cuenta sus conocimientos previos e incorporar paulatinamente el conocimiento científico que les permita transitar hacia modelos científicos eruditos.

El enfoque de investigación basado en núcleos problemáticos

La investigación en didáctica de las ciencias se ha centrado en las ideas o los conocimientos de los aprendices. Si bien existen estudios que reportan problemas de los profesores o de los textos que se emplean en la escuela, la literatura especializada se enfoca sobre todo a las difi-

cultades que tienen los alumnos para aprender conocimientos científicos. Ante la necesidad de plantear nuevas perspectivas para abordar las diferentes aristas que expliquen las dificultades en la comprensión de teorías biológicas, en particular evolutivas, Álvarez Pérez *et al.* (2017) proponen un enfoque de investigación basado en núcleos problemáticos (NUP), que tiene como propósito plantear criterios para identificar, organizar y atender problemas de diferente naturaleza que se vinculan en las dificultades identificadas en la didáctica y que rebasan la dimensión cognitiva de los alumnos. En dicho trabajo se plantea que lo que predomina en la interacción didáctica y que conforma núcleos problemáticos son diversas combinaciones de causas. Entre las más importantes se consideran las siguientes:

- La disciplina de estudio y las metadisciplinas asociadas (filosofía, historia y epistemología)
Las dificultades en la comprensión de las ciencias muchas veces son resultado de la complejidad intrínseca de los conceptos y teorías que la conforman, e incluso de la falta de precisión conceptual desde la disciplina. Otra problemática recurrente ha sido la falta de comprensión por parte de docentes y alumnos acerca de la naturaleza de la ciencia que dificulta la comprensión de las disciplinas y acerca poco a los estudiantes a la manera como la ciencia trabaja y valida el conocimiento (Cofré *et al.*, 2020; Hernández, 1996, 2002; Hernández Rodríguez y Ruiz, 2000, 2001; Ruiz, 1996; Shi, 2021; Yacoubian, 2021).
- La pedagogía y la didáctica (filosofía educativa y correspondientes expresiones didácticas)
La pedagogía y la didáctica están estrechamente vinculadas, sin embargo, en el acto educativo pueden tener distintas repercusiones y no ser siempre complementarias. Las intenciones institucionales, los planes curriculares muchas veces están distanciados de las necesidades de los estudiantes, los alejados esquemas de trabajo, los alambicados contenidos, y seguramente, una combinación de estos y otras aristas del proceso didáctico contribuyen a formar nudos problemáticos de difícil solución (Álvarez Pérez *et al.*, 2017).
- Los sujetos involucrados en el proceso educativo
Aunque son varios los sujetos que inciden en el proceso educativo, sin duda los profesores y los alumnos son los sujetos centrales de la interacción didáctica. Sus condiciones de trabajo impactan no solo la interacción en el aula sino también en los resultados educativos.
- Los contextos (social, científico, educativo)
Las ideas difundidas y arraigadas sobre teoría, ciencia y biología, que compiten con los modelos

científicos a enseñar, con frecuencia se refuerzan en los medios de comunicación masiva y van formando núcleos problemáticos de difícil solución, no solo por la fuerza que tienen, también por el tiempo y los recursos de que disponen. Inciden, además, en el aula de ciencias, las creencias sociales dominantes de diferente índole, tales como el pensamiento mágico, las creencias religiosas y sus expresiones en cada sujeto de la interacción didáctica (Álvarez Pérez *et al.*, 2017).

Ante tal magnitud y diversidad de problemas, el enfoque de NUP se plantea como una herramienta teórica y metodológica que permite dimensionar las propiedades emergentes de los procesos didácticos. Estos procesos solo pueden comprenderse y abordarse adecuadamente desde la perspectiva de diversas disciplinas y niveles de organización espacio-temporal en los que participan los sujetos involucrados en el proceso educativo. Además, es necesario tener en cuenta la disciplina objeto de estudio, los principios pedagógicos y didácticos y el contexto educativo y científico específico. En este entramado epistémico los “núcleos problemáticos” pueden estar relacionados —y aún ser origen unos de otros— (ver figura 1). Es por ello necesario organizar y sistematizar los resultados reportados en la literatura, distinguir las fuentes de origen de los problemas detectados, diferenciar su naturaleza, problematizar, hacer dialogar enfoques, organizar resultados, diseñar, probar y valorar modelos y propuestas didácticas integrales e integradas que favorezcan la comprensión de la ciencia en las escuelas, en este caso de la biología (Álvarez Pérez *et al.*, 2017). En la siguiente sección, presentamos una propuesta en este sentido.

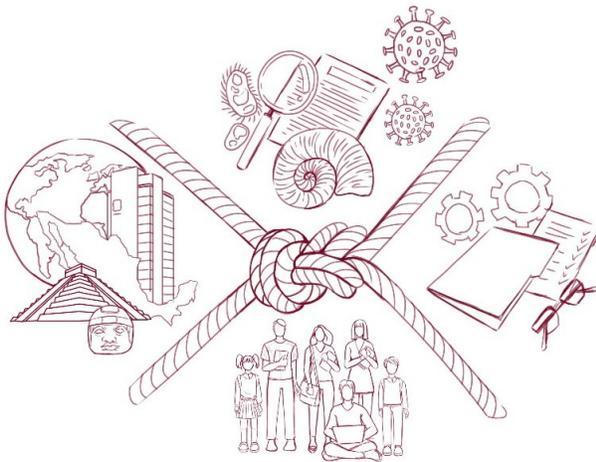


Figura 1. Representación del modelo de núcleos problemáticos (NUP).

Fuente: adaptado de Álvarez Pérez *et al.*, 2017, p. 84. Ilustración de Sara Itzel López González.

Un modelo didáctico para la biología

Un modelo pedagógico didáctico para la biología debe contemplar la compleja problemática de aprender y enseñar este campo de conocimiento, esto significa proponer enfoques coherentes con la naturaleza de esta disciplina que además responda a las necesidades de formación de los estudiantes en el contexto actual. El desafío que esto significa para las instituciones, los diseñadores de currículo, los especialistas en didáctica de la disciplina y, por supuesto, para los docentes no es trivial. Desde nuestro punto de vista este modelo debe:

Encarar la enseñanza de la biología desde una perspectiva que distinga las diversas fuentes de origen de los problemas detectados en su enseñanza y aprendizaje.

- Diferenciar la naturaleza de los problemas y hacer dialogar enfoques.
- Encauzar la investigación en el área y fortalecer la formación docente con un enfoque que contemple este conjunto de factores.
- Estar acorde con las necesidades de formación científica en el momento actual.

Con esta perspectiva, el *Modelo didáctico para la biología* que se propone (en adelante MDB) pretende ampliar el marco de análisis de los procesos educativos para evitar enfoques reduccionistas. Tiene como antecedentes los trabajos de Campos (1989), Campos y Gaspar (1996), Furlán (1978); García (1993). Se fundamenta, sobre todo, en el trabajo de investigación y docencia del grupo de Estudios Filosóficos, Históricos y Sociales de la Ciencia de la Facultad de Ciencias de la UNAM, que desde 1991 ha trabajado en los campos de la filosofía, historia y didáctica de la biología evolutiva (Hernández Rodríguez, 1996; Hernández Rodríguez, 2002; Hernández Rodríguez y Ruiz, 2000; Hernández Rodríguez y Ruiz, 2001; Hernández Rodríguez *et al.*, 2009; Álvarez Pérez, 2015; Álvarez Pérez y Ruiz, 2015; Álvarez Pérez *et al.*, 2017). El MDB retoma, entre otros aspectos, conceptos y teorías provenientes de campos como la biología, la pedagogía, la didáctica, la filosofía e historia de la biología, entre muchas otras disciplinas. De este modo pretende construir referentes que apunten decisiones didácticas.

Conceptos y fundamentos del MDB

El proceso de enseñanza y aprendizaje constituye un acto de interacción y comunicación. Para entender su significado es necesario visualizar la relación entre docentes y aprendices y analizarlos en plena acción, en el aula de clases (Hernández Valderrama, 2019). En el contexto

escolar, el profesor interactúa con sus estudiantes de manera presencial o a distancia, de manera sincrónica o asincrónica; en tanto que el aprendiz forma parte de un colectivo, ya sea un grupo de alumnos situado en un aula en particular o una comunidad de aprendizaje separada geográficamente que se vincula a través de medios digitales específicos (Basabe y Cols, 2007). Campos y Gaspar (1996) consideran que “aula” es el espacio social, intencionalmente organizado para que se lleve a cabo el acceso al conocimiento y el aprendizaje, aunque esta actividad puede darse en otros contextos.

Para representar este proceso, estos autores proponen el esquema de la *estructura didáctica*, que concibe al *contenido de enseñanza* como el núcleo de interacción en el aula, mediante el cual se vincula el proceso de enseñanza con el de aprendizaje (ver figura 2). En este sentido, Campos y Gaspar (1996) plantean que los profesores orientan el proceso didáctico de acuerdo con su formación e interpretación del contenido de enseñanza, del sistema de acreditación y de los objetivos institucionales; poseen, además, un mayor conocimiento de la materia, lo que le permite que pueda juzgar el conocimiento adquirido por el estudiante; de esta manera, configuran el *eje de la enseñanza (profesores-contenido-fines)*. El estudiante, por otra parte, puede aceptar, debatir, negociar y rechazar estas condiciones de interacción, configurando el *eje del aprendizaje (alumnos-contenido-estrategias)*; el cual constituye un proceso formativo, ya que conforma el comportamiento y la formación de los alumnos como individuos y sujetos sociales al reaccionar de manera estratégica ante las intenciones y la orientación por parte del maestro.

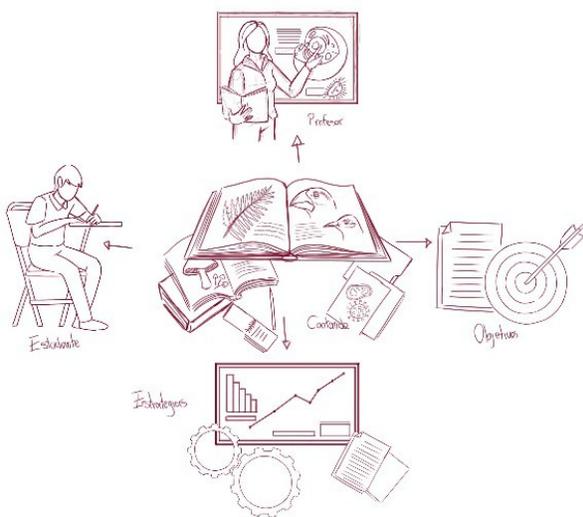


Figura 2. Representación de la Estructura didáctica

Fuente: modificado de Campos y Gaspar, 1996, p. 49. Ilustración de Sara Itzel López González.

El contenido de enseñanza, de este modo, constituye el centro del proceso didáctico. Por tanto, el MDB lo considera como el elemento central del modelo.

Referentes del MDB

Desde la perspectiva de formación por competencias, el diseño y construcción de la ciencia escolar debe estar fundamentada en una comprensión profunda de la naturaleza de las ciencias, que tome en cuenta no solo aspectos disciplinarios, sino también sociales, históricos, filosóficos, éticos y didácticos, entre otros. Ahora bien, si consideramos que uno de los aspectos fundamentales para aprender ciencias y formar ciudadanos científicamente competentes implica comprender la naturaleza de la ciencia, diferenciarla del saber cotidiano y de las teorías personales de los alumnos, entonces, el entendimiento de la interacción entre los distintos *saberes* que circulan en el aula es fundamental para lograr los aprendizajes esperados. Los criterios que los diseñadores del currículo empleen para definir los saberes a enseñar constituyen el punto de partida del proceso didáctico, así como comprender la naturaleza del saber científico a partir del cual se selecciona; el análisis del *saber del alumno*, los esquemas mentales de reflexión que desarrolla, etc. condicionarán la apropiación y asimilación de dichos contenidos; los saberes y la formación disciplinaria, pedagógica y epistemológica del docente y el método de enseñanza que instrumente, entendido como un esquema mediante el cual el profesor orienta la construcción del saber de sus alumnos, derivará en la cantidad y calidad de la información que se ofrezca en las aulas.

El MDB, de este modo, considera al contenido de enseñanza como elemento central del modelo debido a que es el factor que articula la estructura didáctica; este contempla no solo aspectos conceptuales y metodológicos, sino un conjunto de saberes que buscan el desarrollo de diversas competencias que fortalezcan la formación científica de los estudiantes. La determinación de este conjunto de saberes es un aspecto medular del proceso y constituye el punto de partida para el diseño de unidades didácticas y para planificar la formación y la práctica docente por lo que debe estar basado en referentes y criterios que lo fundamenten y orienten. Desde nuestro punto de vista, este conjunto de referentes debe estar vinculado con diferentes aspectos: disciplinarios, pedagógicos, didácticos, cognitivos, filosóficos, históricos, epistemológicos, sociales y éticos, entre otros, que, aunque en la práctica están conectados y tensados por las finalidades didácticas, en el MDB, por cuestiones analíticas, los diferenciamos y agrupamos en algunas categorías básicas. Así, se distinguen referentes vinculados a:

- Los fines y estrategias educativas.
- El objeto de conocimiento.
- Los sujetos.
- Los contextos vinculados a este proceso.

Referentes relacionados con los fines y estrategias educativas

Referente pedagógico-didáctico

Los *modelos pedagógicos* representan las formas particulares de interrelación entre los factores y sujetos que intervienen en el proceso educativo; definen una concepción sobre lo que es o debe ser el ser humano y la sociedad y establecen el ideal de una persona bien educada, en este sentido son una *utopía*. Cuentan con un marco teórico a partir del cual se definen y abordan el contenido y las estrategias didácticas; determinan los ritmos y niveles del proceso educativo y establecen los esquemas de relación entre los sujetos que intervienen (Ruiz, 2007; Morales, 2003). Es por ello por lo que debe tenerse en cuenta:

- Los propósitos y fines del plan de estudios y de los cursos específicos.
- Objetivos de enseñanza y aprendizaje.
- Los saberes a enseñar.
- Esquemas de interacción entre profesores y alumnos.
- Modelos de enseñanza de la ciencia que fundamentan objetivos y estrategias didácticas.
- Modelos de aprendizaje en los que se basan planes y programas.

Los planes de estudio, además de definir los objetivos, perfiles y saberes a enseñar, generalmente establecen las estrategias y recursos didácticos que orientan a los profesores en su práctica. Así:

- Determinan los ritmos y niveles del proceso educativo.
- Establecen la *secuencia* propuesta para enseñar los contenidos.
- Proponen las estrategias metodológicas, entendidas como la organización de las situaciones de enseñanza, la construcción de ciclos y secuencias didácticas, formas de considerar y dirigir las clases, interacciones, proyectos, recursos, etc. que deben seguir los docentes.
- Establecen los criterios de evaluación para determinar si se evalúa un solo tipo de conocimiento o si se evalúan los diferentes componentes del conocimiento (cognoscitivo, afectivo, práctico); si se evalúa durante o al final del proceso; así

como los instrumentos de evaluación que se emplearán, etc.

En suma, este referente establece las intenciones pedagógicas que definen las instituciones educativas que orientan y vinculan a los diferentes elementos y sujetos involucrados en el proceso didáctico.

Referentes relacionados con el objeto de conocimiento

El conjunto de saberes que deben enseñarse en las aulas requiere de la elección de problemas científicos socialmente relevantes que posibiliten el estudio y análisis de modelos, teorías, conceptos y metodologías válidos para las comunidades científicas, de tal modo que promuevan el desarrollo de habilidades científicas, sociales y éticas, entre otras. La conformación de este conjunto de saberes requiere de una comprensión profunda de nuestro objeto de conocimiento, en principio por quienes definen los contenidos curriculares, y por supuesto, de los docentes que tienen la responsabilidad de transmitirlos en contextos específicos (De Carvalho *et al.*, 2020). Desde la perspectiva del MDB, esto implica un diálogo de saberes disciplinarios, históricos, filosóficos y bioéticos, entre otros.

Referente disciplinario

Aunque los temas y problemas biológicos que pueden abordarse están en función de los objetivos y perfiles de los distintos niveles educativos, consideramos que, en los niveles básicos, medio y medio superior, los rasgos distintivos de la biología como un conjunto de conocimientos científicos deben estar articulados en torno a las teorías centrales que dan cuenta del fenómeno de la vida y sus interacciones. La enseñanza de la biología también debe estar acompañada de un acercamiento metodológico propio de nuestra disciplina, en particular, debe tomar en cuenta la naturaleza de las explicaciones históricas, que acompañan la noción de causalidad de las teorías biológicas, con el objetivo de que sea clara la perspectiva de una naturaleza dinámica en la que tanto los individuos (entidades biológicas de cualquier especie), en cualquiera de sus niveles (individuos, poblaciones, especies, ecosistemas), como objetos de estudio y sus interacciones son resultados históricos que responden a causas naturales.

Es necesario resaltar que por cuestiones metodológicas, las diferentes disciplinas de la biología que generan conocimientos científicos abordan de manera segmentada distintos aspectos del fenómeno de la vida, sin embargo, la enseñanza de esta ciencia debe tomar en

cuenta que un organismo, una célula, una especie, es un objeto histórico que ha evolucionado (teoría de la evolución), que está estructurado con componentes básicos de la vida (teoría celular), que tiene una relación genealógica con sus ancestros que se mantiene a través de los procesos de la herencia (teorías de la herencia) y que las interacciones entre otros individuos y el ambiente son explicadas por diferentes procesos (teorías ecológicas). Esta visión integral de la biología permitirá reconocer el dinamismo y la historicidad de la naturaleza.

En la escuela debe entenderse que la biología, a lo largo de su historia, se ha transformado en una ciencia vigorosa que busca comprender las funciones y las estructuras de los seres vivos. Esta disciplina abarca temas fundamentales en el estudio de los organismos, como son: el desarrollo, la herencia, la evolución, la interacción con el medio y con otros organismos. Esta diversidad de enfoques ha traído como consecuencia la gran diversificación de esta ciencia en numerosas disciplinas, y en su conjunto, estas especializaciones han conformado una gran trama conceptual y metodológica que busca comprender la enorme complejidad de los seres vivos

La biología ha establecido una serie de principios y conceptos que definen las características fundamentales de los organismos. Además, su estudio se ha llevado a cabo considerando distintos niveles de organización, que van desde los niveles atómicos y moleculares hasta los ecológicos y evolutivos, lo que hace un campo de investigación complejo y diverso, cuyo campo de estudio tiene grandes implicaciones sociales (Mayr, 2000; Jiménez García *et al.*, 2010). Por ello, la enseñanza de la biología debe promover un conocimiento integral que contenga:

- Los diferentes objetos de estudio de la biología.
- La biología y sus grandes generalizaciones.
- Teorías y conceptos centrales.
- Características de los modelos y fenómenos que explican.
- Metodologías de estudio.
- Problemas científica y socialmente relevantes vinculados al quehacer de la biología.

Referente histórico-filosófico-bioético

Para lograr la comprensión integral de la biología, además de aspectos disciplinarios, se requiere de reflexiones filosóficas, históricas y bioéticas, ya que el conocimiento de estos campos fortalece la alfabetización científica al hacerla más profunda y crítica (Matthews, 2017; Shi, 2021). Es por ello por lo que en la escuela deben incorporarse discusiones acerca de:

- ¿Por qué es posible confiar en la ciencia?
- ¿Cuáles son sus límites?
- ¿Cómo se explica el cambio científico?
- ¿Cuál es la naturaleza de los métodos de estudio de la biología?
- ¿Cuál es la distinción entre hechos, teorías y modelos científicos?
- ¿Qué papel juega la experimentación en la construcción de las teorías?

En el mismo sentido, también es importante que se discutan y analicen en las aulas los cambios que se han generado dentro de la práctica científica en la que se han integrado valores bioéticos que han promovido regulaciones sobre el uso de organismos en experimentos de laboratorios de investigación, así como en el uso de organismos vivos en las prácticas escolares. En general, la bioética debe integrarse como un eje transversal en las nuevas formas de enseñar biología (Basagni y González-García, 2022).

Sujetos que intervienen en el proceso didáctico

Los sujetos que intervienen en el proceso educativo son diversos. En el contexto institucional participan directivos, diseñadores de currículo y didactas, entre otros; en el científico, los expertos disciplinarios, los responsables de definir políticas científicas y educativas en centros e instituciones; y en el aula, los alumnos y los profesores son los protagonistas y los actores fundamentales del proceso didáctico. En este sentido, “merece especial atención la responsabilidad institucional, del sistema y de las políticas educativas en la formación, la actualización docente, la evaluación y las condiciones de trabajo y estudio de los estudiantes, aunadas, sin duda y, guardando las proporciones, la responsabilidad de profesores y alumnos” (Álvarez Pérez *et al.*, 2017, p. 83).

Contextos

No podemos desligar el proceso educativo de la interacción con otras personas y contextos. Hemos visto que el *aula* constituye el espacio social específicamente diseñado para que se lleve a cabo el proceso didáctico (aunque también puede darse en otros contextos); y, que este, a su vez, interactúa y se ve determinado por el *contexto institucional*, que es donde se definen las intenciones y metas curriculares que guían y orientan el proceso didáctico; y por el *contexto científico-social*, que marca las directrices disciplinarias y la relevancia social del conocimiento científico que transita en la escuela. Por ello, es fundamental reconocer y diferenciar la

naturaleza, dinámica, interacción e implicaciones de estos diferentes contextos en el proceso educativo.

Las instituciones educativas, por ejemplo, al ser las responsables de definir los objetivos y metas pedagógicas y de regular y evaluar la actividad docente, tienen una gran repercusión en el proceso didáctico, ya que son quienes generan las condiciones de estudio y trabajo de profesores y alumnos. La comprensión del contexto en que se desarrolla la ciencia es fundamental para la formación científica de los docentes y de los ciudadanos. La imagen que se presenta en diferentes medios (escuela, televisión, periódicos, etc.) no siempre considera que los productos científicos y tecnológicos son construcciones humanas condicionadas social e históricamente (Olivé, 2000). Por lo anterior, es importante que los docentes conozcan la naturaleza social de la ciencia, tanto en lo que se ha denominado “el contexto social interno”, que explica cómo genera, construye y valida nuevo conocimiento, que es analizado por campos como la epistemología, sociología e historia de la ciencia; como el contexto social externo, que se refiere al papel que los científicos y sus productos tienen para la sociedad.

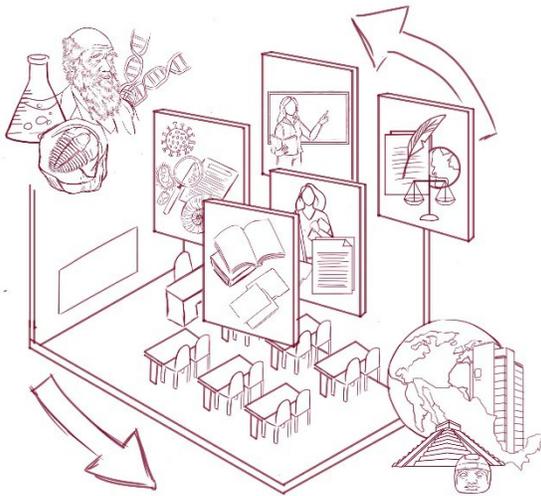


Figura 3. Representación del MDM. El proceso didáctico mediado por referentes disciplinarios, históricos, epistemológicos y éticos, los sujetos y los contextos científicos, institucionales y sociales

Fuente: ilustración de Sara Itzel López González.

Del modelo didáctico a las aulas

La necesidad de orientar el currículo enfocado al desarrollo de competencias, como señala Marbà (2012), debe implicar cambios en las aulas y no solo en el discurso educativo; supone identificar y definir los saberes científicos que pueden ser usados en ciertos contextos

de aprendizaje y las situaciones concretas en las que puedan aplicarse. Según esta autora, el enfoque de enseñanza basado en problemas ha sido empleado en muchos planes de estudio y desarrollado por muchos profesores, sin embargo, bajo la perspectiva de formación por competencias, este se formaliza y forma parte de la programación didáctica de manera explícita. Los objetivos de aprendizaje pretenden que los estudiantes no solo recuerden, identifiquen o definan conceptos, sino que actúen y tomen posturas ante los problemas, los contenidos y las situaciones analizadas, de tal modo que el conocimiento adquirido vaya más allá de las aulas y favorezca un aprendizaje significativo y útil para los aprendices. Esto requiere generar condiciones en el aula y situaciones de aprendizaje que sean atractivas para los estudiantes y que aborden problemáticas abiertas que les permitan valorar las distintas consecuencias de las decisiones que tomen para conocerlas y comprenderlas.

La selección del conjunto de saberes a enseñar, entonces, debe incluir de manera integral los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales que promuevan el desarrollo de distintas competencias básicas. Respecto a los contenidos conceptuales, es necesario identificar el o los modelos científicos de referencia (hemos señalado cuáles son, desde nuestro punto de vista, las teorías y modelos biológicos fundamentales que permiten abordarla de manera integral); así como incorporar objetivos cognitivos como evaluar, argumentar, comunicar, etc. Los contenidos procedimentales, deben incluir no solo aquellos aspectos relacionados con el manejo de técnicas de laboratorio, sino también saberes que fortalezcan en los aprendices la comprensión de textos científicos, la búsqueda de información en medios digitales, la redacción de textos argumentativos, el reconocimiento de evidencias científicas en diferentes contextos, así como la comunicación de ideas científicas expresadas en buenas presentaciones orales y escritas, entre otros.

Respecto a los contenidos actitudinales, más allá de contemplar las normas de convivencia en clase, se deben fomentar la inclusión de temas como los valores éticos que promuevan la construcción de nuevas formas de relacionarnos con la naturaleza que incidan también en el beneficio de los ecosistemas, de la vida y la biodiversidad en general. En términos generales, los contenidos actitudinales deben generar en los estudiantes actitudes basadas en nuevas formas de relacionarse con la naturaleza en la que vaya implícito el imperativo bioético “tratar con respeto, en la medida de lo posible, cualquier forma de vida”. Así como, nuevos enfoques de enseñanza del saber biológico que incluya alternativas didácticas que no incluyan el uso de organismos vivos.

Reflexión final

El conjunto de dificultades de distinta naturaleza que se han analizado en este trabajo nos lleva a considerar que la enseñanza y aprendizaje de la ciencia en general, y de la biología en particular, no son una tarea sencilla. El desafío que esto representa para las instituciones educativas, los profesores y para los mismos estudiantes no es trivial. Considerando lo anterior y tomando en cuenta que las sociedades contemporáneas requieren una sólida comprensión de la ciencia, un conocimiento profundo sobre su naturaleza y sus implicaciones sociales, históricas y éticas y que el conocimiento científico tiene importantes implicaciones para los seres humanos y para el planeta, resulta inaplazable fortalecer la investigación en el área y los programas de formación docente; esta tarea requiere de modelos fundamentados que planteen referentes y criterios amplios que guíen la investigación y la acción didáctica. El modelo didáctico para la biología que se ha propuesto en este trabajo busca ampliar el marco de análisis de los procesos educativos que eviten enfoques reduccionistas. El conjunto de referentes disciplinarios, pedagógicos, didácticos, históricos, filosóficos, bioéticos y sociales que están incluidos en el modelo tiene el propósito de orientar la investigación en el área y fundamentar programas de formación docente que ayuden a los profesores a mirar las múltiples variables que intervienen en la construcción y comprensión del conocimiento científico, en particular, del conocimiento biológico. Partimos de la consideración de que en este momento requerimos de una didáctica de la biología que contemple las necesidades de formación de los ciudadanos del siglo XXI; que considere los rasgos distintivos de nuestra disciplina tanto en aspectos conceptuales y metodológicos y que ofrezca una visión integral que refleje su dinamismo y carácter histórico.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (2012). Competencias meta científicas escolares dentro de la formación del profesorado de ciencias. En: E. Badillo, L. García, A. Marbà y M. Briceño (Coords.), *El desarrollo de competencias en la clase de ciencias y matemáticas* (pp. 45-67). Universidad de los Andes.
- Adúriz-Bravo, A., Merino, C., Jara, R., Arellano, M. y Ruiz, F. J. (2012). Competencias científicas desde dónde y hacia dónde, En: E. Badillo, L. García, A. Marbà y M. Briceño (Coords.), *El desarrollo de competencias en la clase de ciencias y matemáticas* (pp. 19-42). Universidad de los Andes.
- Adúriz-Bravo, A. y Mercè Izquierdo-Aymerich (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación Educativa en Ciencias REIEC*, 4(Especial 1), 40-49.
- Álvarez Pérez, E. (2015), *Conocimientos fundamentales de biología evolutiva: propuesta didáctica para educación secundaria*, [Tesis de doctorado, UNAM].
- Álvarez Pérez, E. y Ruiz, R. (2015). Proposal for teaching evolutionary biology: A bridge between research and educational practice. *Journal of Biological Education*, 50(2), 123-146. <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1007887>
- Álvarez Pérez, E., Hernández Rodríguez, M. C. y Esparza, S. (2017). Obstáculos epistemológicos y núcleos problemáticos: dos enfoques de investigación en didáctica de biología evolutiva. En: Z. Monroy, R. León y G. (Eds.), *Obstáculos epistemológicos en la enseñanza y el aprendizaje de la filosofía y de la ciencia* (pp. 79-91). UNAM.
- Archila, P.A., Danies, G., Molina, J. Truscott de Mejía A.-M. y Restrepo, S. (2021). Towards Covid-19 literacy. *Science & Education*, 30, 785-808. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00222-1>
- Basagni, D. y González-García, F. (2022). Bioética, una temática transversal para la educación secundaria. *Human Review. International Humanities Review/Revista Internacional de Humanidades*, 11(3 Monográfico), 1-11. <https://doi.org/10.37467/revhuman.v11.3824>
- Bašnáková, J., Čavojská, V. y Šrol, J. (2021). Does concrete content help people to reason scientifically? *Science & Education*, 30, 809-826. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00207-0>
- Becerra, B., Núñez, P., Vergara, C., Santibáñez, D., Krüger, D. y Cofré, H. (2023). Developing an instrument to assess pedagogical content knowledge for evolution. *Research in Science Education*, 53(2), 213-229. <https://doi.org/10.1007/s11165-022-10042-0>
- Benito, M. (2009). Debates en torno a la enseñanza de la ciencia, *Perfiles Educativos*, 31(123), 27-43.
- Bishop, B. y Anderson, C. (1990). Students' conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 415-427. <https://doi.org/10.1002/tea.3660270503>
- Brumby, M. (1979). Problems in learning the concept of natural selection. *Journal of Biological Education*, 13(2), 119-122. <https://doi.org/10.1080/00219266.1979.9654240>

- Brumby, M. (1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68(4), 493-503. <https://doi.org/10.1002/sce.3730680412>
- Basabe, L. y Cols, E. (2007). La enseñanza. En A. de Camilloni, E. Cols, L. Basabe y S. Feeney, *El saber didáctico* (pp. 125-161). Paidós.
- Campanario, J. M. y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. En *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179-192.
- Campos, M. A. (1989). La estructura didáctica. En A. Furlán, F. Ortega Pérez, V. Remedi, M. A. Campos y Marzolla, M. F., *Aportaciones a la didáctica de la educación superior* (pp. 25-38). UNAM-ENEPI.
- Campos M. A. y Gaspar S. (1996). Las condiciones inmediatas de la construcción de conocimiento en el aula. En: M. A. Campos y R. Ruiz (Eds.), *Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de la ciencia* (pp. 51-92). UNAM.
- Cofré, H., Núñez, P., Santibáñez, D. Pávez, J. M., Valencia, M. y Vergara, C. (2020). Correction to: A critical review of students' and teachers' understandings of nature of science. *Science & Education*, 29, 221-232 <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00062-0>
- Davidson, S. G., Jaber, L. Z. y Southerland, S. A. (2021). Cultivating science teachers' understandings of science as a discipline. *Science & Education*, 31, 657-683 <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00276-1>
- De Carvalho, Í. N., El-Hani, C. N. y Nunes-Neto, N. (2020). How should we select conceptual content for biology high school curricula? *Science & Education*, 29, 513-547. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00115-9>
- Furlán, A. (1978). Construcción de la estructura metodológica. En A. Furlán, F. Ortega Pérez, V. Remedi, M. A. Campos y Marzolla, M. F., *Aportaciones a la didáctica de la educación superior* (pp. 36-59). UNAM-ENEPI.
- Gallego, A., Zapata, J. y M. Rueda. (2009). Una alfabetización científica tecnológica y cultural, *Revista científica*, (11), 52-61. <https://doi.org/10.14483/23448350.411>
- García, M., J. V. (1993). *Metodologías de la enseñanza en educación superior. Núcleo problemático: técnicas didácticas*. UNAM. CISE.
- Giordan, A. (1987). Los conceptos de biología adquiridos en el proceso de aprendizaje. *Enseñanza de la Ciencias*, 5(2), 105-110.
- Hernández Rodríguez, M. C. (1996). La enseñanza de la historia del evolucionismo: un estudio de caso. En: M. A. Campos y R. Ruiz (Eds.). *Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de la ciencia* (pp. 159-180). UNAM
- Hernández Rodríguez, M. C. y Ruiz, R. (2000). La construcción del evolucionismo: un enfoque histórico-cognoscitivo, *Revista Siglo XXI. Perspectivas de la Educación desde América Latina*, (14), 3-4.
- Hernández Rodríguez, M. C. y R. Ruiz (2001). Kuhn y la enseñanza del evolucionismo biológico, *Perfiles Educativos*, 2(89-90), 92-114.
- Hernández Rodríguez, M. C. (2002). *La historia en la enseñanza de la teoría de la selección natural*. [Tesis de doctorado, UNAM].
- Hernández Rodríguez, M. C., Álvarez Pérez, E. y R. Ruiz Gutiérrez. (2009). La selección natural: aprendizaje de un paradigma. *Revista Teorema*, 28(2), 107-121.
- Hernández Valderrama, C. (2019). El proceso de enseñar y aprender: indagación desde el contexto educativo. *Revista Científica*, 4(12), 254-274. <https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2019.4.12.13.254-274>
- Izquierdo-Aymerich, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Revista Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, 125-138.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (1994). Teaching evolution and Natural Selection: a look at textbooks and teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), 519-536. <https://doi.org/10.1002/tea.3660310507>
- Jiménez, Aleixandre, M. P. (2002). Aplicar la idea de cambio biológico: ¿por (sic) qué hemos perdido el olfato? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 32, 48-55.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (Coord.). (2003). *Enseñar ciencias*. Editorial Graó.
- Jiménez García, L. et al., (2010). En: K. Padilla Martínez, L. Jiménez, M. López Cervantes (Coords.), *Enciclopedia de Conocimientos Fundamentales* (Vol. 4). UNAM, Siglo XXI Editores. <https://doi.org/10.22201/sdi.9786070217814p.2010>
- Jolly, P. y Strawitz, B. (1984). Teacher-student cognitive style and achievement in biology. *Science Education*, 68(4), 485-490.
- Kampourakis, K. y Zogza, V. (2007). Students' preconceptions about evolution: how accurate is the

- characterization as “Lamarckian” when considering the history of evolutionary thought. *Science & Education*, 16, 393-422. <http://dx.doi.org/10.1007/s11191-006-9019-9>
- Ke, L., Sadler, T. D., Zangori, L. y Friedrichsen, P. (2021). Developing and using multiple models to promote scientific literacy in the context of socio-scientific issues. *Science & Education*, 30, 589-607. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00206-1>
- Kobarg, M., Prenzel, M. y Seidel, T. (2011). *An international comparison of science teaching and learning. Further results from PISA 2006*. Waxmann Verlag.
- Maia, P., Justi, R. y Santos, M. (2021). Aspects about science in the context of production and communication of knowledge of Covid-19. *Science & Education*, 30, 1075-1098. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00229-8>
- Marbà T. A. (2012). Programar por competencias. Del currículo a las unidades didácticas. En: E. Badillo, L. García, A. Marbà y M. Briceño (Coords.), *El desarrollo de competencias en la clase de ciencias y matemáticas* (pp. 230-252). Universidad de los Andes.
- Matthews, M. (2017). *La enseñanza de la ciencia. Un enfoque desde la historia y filosofía de la ciencia*. Fondo de Cultura Económica.
- Mayr, E. (2000). *Así es la biología*. Debate.
- Meinardi, E. (2010). *Educación en Ciencias*. Paidós.
- Morales, B. (2013). Análisis de los modelos educativos desde el paradigma “aprender a aprender”. *Revista Iberoamericana para la Investigación y Desarrollo Educativo*, (10), 1-46.
- Nehm, R. H. y Schonfeld, I. S. (2007). Does increasing biology teacher knowledge of evolution and the nature of science lead to greater preference for the teaching of evolution in schools? *Journal of Science Teacher Education*, 18(5), 699-723. <http://dx.doi.org/10.1007/s10972-007-9062-7>
- Olivé, L. (2000). *El bien, el mal y la razón, Facetas de la ciencia y de la tecnología*. Paidós, UNAM,
- Pedrinaci, E. (2006). Ciencias para el mundo contemporáneo: ¿una materia para la participación ciudadana? *Revista Alambique*, 49, 9-19.
- Ruiz, O. F. (2007). Modelos didácticos para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia)*, 3(2), 41-60.
- Ruiz, R. (1996). La metodología científica y enseñanza de la ciencia. En: M. A. Campos y R. Ruiz (Eds.), *Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de la ciencia* (pp. 1-26). UNAM.
- Ruiz, G. R.; E. Álvarez Pérez; R. Noguera y M. S. Esparza. (2012). Enseñar y aprender biología evolutiva en el siglo XXI. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 5(9): 80-88.
- Shi, X. (2021). Using explicit teaching of philosophy to promote understanding of the nature of science. *Science & Education*, 30, 409-440. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00173-z>
- Tsybulsky, D. (2020). Conceptual trends and issues in biology didactics. *Science & Education*, 29, 483-485. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00112-y>
- Yacoubian, H. A. (2021). Students’ views of nature of science. *Science & Education*, 30, 381-408. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00179-7>