



Modelización en la enseñanza de las ciencias: Una revisión sobre sus aportes entre 1988 y 2020

ISSN 2215-8227

2021, primer semestre

Volumen 2, No. 1

Modelagem no ensino de ciências: uma revisão de suas contribuições

Modeling in science education: A chronological review of the main proposals

Resumen

Susana Abella
Universidad Distrital
Francisco José de Caldas
susitaabella@gmail.com

La modelización es una parte fundamental de la ciencia escolar, porque logra llevar la teoría a la realidad mediante representaciones y esto favorece los procesos comunicativos que son cruciales para la enseñanza y aprendizaje de los estudiantes; ya que cuando se logran habilidades de tipo argumentativo se hace efectiva la movilización de los modelos científicos a la ciencia escolar, que implica una serie de procesos desde la identificación de las ideas iniciales, hasta la construcción propia y orientada de nuevos modelos más complejos. Llegar a esta idea de modelización, ha implicado el surgimiento y consolidación de diversas líneas de investigación, por ejemplo: mediante el uso de TIC, como medio de representaciones, como estrategia de evaluación, desde modelos mentales y desde perspectivas teóricas psicológicas, epistemológicas y filosóficas que le sustentan; a sabiendas que pueden quedar muchas otras fuera de este listado por su misma versatilidad. Así entonces, la modelización aún tiene mucho por ser explorada y este documento de revisión, es una forma de consolidar antecedentes para investigaciones al respecto y para que los docentes de ciencias, reconozcan la importancia de incluirle como práctica en el aula promoviendo un acercamiento a las representaciones de sus estudiantes.

Palabras clave

Revisión teórica, modelización, enseñanza de las ciencias, modelo científico escolar.

Resumo

A modelagem é parte fundamental da ciência escolar, pois consegue trazer a teoria para a realidade por meio de representações e isso favorece os processos comunicativos que são cruciais para o ensino-aprendizagem dos alunos; uma vez que quando as habilidades argumentativas são alcançadas, torna-se efetiva a mobilização de modelos científicos para a ciência escolar, o que implica uma série de processos desde a identificação de ideias iniciais, até a construção auto-orientada de novos modelos mais complexos. Chegar a essa ideia de modelagem envolveu o surgimento e a consolidação de várias linhas de pesquisa, por exemplo: por meio do uso das TIC, como meio de representação, como estratégia de avaliação, a partir de modelos mentais e psicológicos, epistemológicos e filosóficos. perspectivas teóricas que o sustentam; sabendo que muitos outros podem ficar de fora desta lista devido à sua versatilidade. Assim, a modelagem ainda tem muito a ser explorada e este documento de revisão é uma forma de consolidar as bases para pesquisas nesse sentido e para que os professores de ciências reconheçam a importância de incluí-la como prática em sala de aula, promovendo uma aproximação às representações de seus alunos.

Palavras chaves

Revisão teórica, modelagem, ensino de ciências, modelo científico escolar.

Abstrac

Modeling is a fundamental part of school science because it manages to bring theory to reality through representations and this favors the communicative processes that are crucial for the teaching and learning of students; since when argumentative skills are achieved, the mobilization of scientific models to school science becomes effective, which implies a series of processes from the identification of initial ideas, to the own and oriented construction of new more complex models. Getting to this idea of modeling has implied the emergence of and consolidation of different research lines, for example: throughout the implementation of ICT as a mean of representation, as an assessment strategy, from mental models, and from the theoretical, psychological, epistemological and philosophical perspectives that give them support, considering that some others might be excluded from this list by its own versatility. Thus, modeling still have too much for being explored, and this review document is a way to consolidating antecedents for research in this regard and for science teachers to recognize the importance of including it as a practice in the classroom, promoting an approach to the representations of their students.

Keywords

Theoretical-historical review, modeling, science education, school-scientific model.

Introducción

Los modelos, el modelamiento o modelización para la enseñanza de las ciencias, hacen referencia aparentemente a lo mismo y según distintas revisiones, algunos autores tienden a diferenciarlos por tratarse de “modelos científicos conceptuales” para trabajar explicación en el aula, o por ser pensados desde los “procesos de modelización” desarrollados por los estudiantes; entonces el término varía dependiendo el autor o la traducción pero a la final implica un conjunto de procesos metacognitivos que han venido consolidándose con el paso del tiempo, esto se da porque hace más de 20 años solían ser concebidos únicamente como “juguetes” o copias de la realidad (Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991), y ahora se han encontrado distintas bondades como el desarrollo del pensamiento concreto, desde los modelos mentales como categoría de la psicología, como potenciadores del lenguaje explicativo y argumentativo, en tanto se diseñan y rediseñan modelos para mediar o trasponer ideas de ciencia de los estudiantes (Couso, 2020).

Comprender y utilizar metodológicamente la modelización escolar, es fundamental para profesores de distintos campos del conocimiento, por permitirles un acercamiento a la forma en que los estudiantes interpretan fenómenos, sucesos, problemas científicos, entre otros, además de una proximidad a las ideas que desarrollan y los aprendizajes que deben cobrar relevancia para su vida cotidiana. Así entonces, se realiza esta revisión para aproximar a los profesores de ciencias a la importancia de hacer uso de la modelización en sus prácticas pedagógicas, mediante el reconocimiento de autores clásicos que siguen siendo citados, otros que hacen adaptaciones a propuestas iniciales, y otros que comparten las experiencias de aula para fortalecer el hecho de llevar a distintos niveles de aprendizaje la modelización para la ciencia escolar. En aras de hacer un recorrido sobre estos aportes, este documento de revisión presenta primero la importancia de la modelización para la enseñanza de las ciencias; luego presenta algunos diagramas metodológicos propuestos entre 1988 y 2020 mediante un compendio que se evidencia a través de una perspectiva histórica y contextualizada. La estrategia para ello parte de la elaboración de un tesoro que seguidamente despliega búsquedas en las bases de datos Scopus, ERIC, Science Direct y de un meta-buscador que para el caso es google scholar.

Posteriormente, para reconocer algunos autores representativos del campo es necesario revisar las referencias bibliográficas en los artículos seleccionados, dado que allí se encuentran referentes clásicos de modelización que han consolidado fundamentos teóricos para sustentar esta línea y su relevancia en el uso del lenguaje para las ciencias naturales; no es sorpresa que varios de estos referentes provienen de la enseñanza de las matemáticas, pues es pionera por su mismo sentido abstracto que así emergencialmente, contribuye para la modelización en el contexto de la didáctica de la física, la química y la biología. Es también muy común encontrar trabajos que recurren a la modelización para la enseñanza en la educación superior, como en la ecología, geografía, medicina, ingenierías de sistemas, civil, ambiental, catastral, entre otras, lo que hace aún más interesante el diálogo entre las ciencias naturales y otros saberes que usan la modelización para hacer análisis estadísticos cuantitativos y cualitativos que involucran representaciones y formas de comprender el mundo.

De lo anterior que al reconstruir los aportes de la modelización es claro que está permeada por las epistemes y formas de aprender de cada época y visiblemente acorde con los recursos tecnológicos del momento, ya que estos funcionan como mediadores y a la vez como parte de los modelos que son rediseñados y revisados por los mismos estudiantes tras sus construcciones y aprendizajes. Así pues, este escrito, consolida algunas reflexiones finales emergentes de la lectura y análisis de los principales documentos revisados sobre modelización. La presente revisión, es un importante punto de partida a modo de antecedente para futuras investigaciones en el campo de la modelización y la didáctica de las ciencias, por suscitar reflexiones frente a la necesidad de estrechar el lazo entre lo que se quiere enseñar y la comprensión docente sobre las interpretaciones de los estudiantes; ello hacia la adecuación incluso curricular desde las necesidades contextuales, que parten del reconocimiento de lo que ya se ha escrito respecto a la modelización.

Sobre la importancia de la modelización en la enseñanza de las ciencias

Para hablar de modelos en ciencias es necesario dar un contexto epistemológico de partida, que para este caso es el modelo cognitivo de ciencia escolar, “los modelos son entidades abstractas, representaciones que subrogan, que reemplazan algunos aspectos del mundo que se estudian y actúan como mapas para facilitar su comprensión” (Giere, 1999; Adúriz-Bravo, 2011, 2012), así, los modelos son parte fundamental de la ciencia escolar para lograr representaciones de forma analógica procurando llevar la teoría a lo que entendemos por realidad. Los obstáculos epistemológicos y las concepciones sobre la naturaleza de la ciencia que poseen los estudiantes, pueden entenderse como sus mayores dificultades para comprender modelos científicos, como por ejemplo procesos evolutivos (Santo, 2006), de allí que emerjan propuestas didácticas a un alto grado de especificidad que preponderan ideas estructurantes del currículo.

Así entonces, en los procesos de modelización que llevan a cabo los estudiantes es posible identificar modelos intermedios y aproximaciones parciales que son funcionales, esto es lo que les permite ajustar las representaciones de los fenómenos, pudiendo ser remodelados o reconstruidos (Lozano, 2003), dado que la ciencia tiene como interés principal diseñar modelos que ayuden a explicar el mundo natural y es importante comprender que:

una explicación es la respuesta proporcionada en respuesta a una pregunta específica. El término explicación (que significa "lo que se proporciona") debe distinguirse del término que explica (que significa "el acto físico de proporcionar una explicación") y los dispositivos pedagógicos utilizados, (Gilbert, Boulter, & Rutherford, 2000).

La cita anterior toma relevancia en tanto las explicaciones no se quedan en las del profesor al usar un modelo, sino que estas explicaciones vienen por parte de los estudiantes quienes van complejizando sus modelos mentales iniciales. Ya por parte del docente es prioritario elegir adecuadamente los objetivos epistémicos, pues si se quiere por ejemplo llegar a un alto nivel de detalle en un tema particular, se puede recurrir al modelo mecanicista, del que se debe ser consciente que sacrifica generalidades que son importantes en términos de la comprensión del contexto, para ahondar en particularidades o especificidades que enfocan la atención desde lo teórico. En otras ocasiones el objetivo puede ser llegar a modelos abstractos, que son los recurrentes desde la estadística o desde la matemática (aplica para dinámica de poblaciones) o como mencionan los autores Svoboda & Passmore (2013), “los modelos de genética de poblaciones generalmente sacrifican la realidad para hacer predicciones generalizables. Estos modeladores tienen como objetivo el poder explicativo general sobre descripciones mecanicistas detalladas” (p. 122).

Los modelos pueden ser de diferentes tipos para llegar a explicaciones en ciencia escolar, y ello no significa que estos sean independientes sino por el contrario, se puede recurrir a diferentes formas de modelización como: dibujos, esquemas, gráficas, expresiones textuales, simulaciones, mapas, entre otros, que son utilizados para reconocer rutas y procesos de aprendizaje, así como se pueden traer cuestiones del ámbito científico para representar estructuras teóricas (como en abstracto/conceptual), por ejemplo las pirámides de energía en los ecosistemas, o aquellas simplemente inaccesibles para la observación directa, como el interior de la tierra. “Compartimos una síntesis al ver que los modelos son representaciones construidas como convenciones dentro de una comunidad para apoyar la actividad disciplinaria, Lehrer & Schauble (2003), citado por Windschitl, Thompson, & Braaten, (2008).

Con lo anterior se señala que no se habla de una verdad mediada por modelos, sino aproximaciones a las interpretaciones que hemos dado a la ciencia como construcción social; los modelos parten de contextos fenomenológicos que buscan representar ideas desde la evidencia, por ello la enseñanza de las ciencias debe propender por motivar a los estudiantes a plantearse preguntas o problematizar situaciones que se puedan resolver mediante procesos de modelización, que les implique replantearse constantemente, o de lo contrario se puede caer en un error por pasar de la simplificación de un fenómeno a la reducción conceptual del mismo (Abella, 2019).

Dentro de las tareas del profesor de ciencias, está la de saber ciencias manteniéndose a la vanguardia para ser el facilitador de esos modelos científicos hacia la escuela, mediante transposiciones que permitan también al profesor asumir su rol como investigador, evaluar la comprensión de los estudiantes frente a distintos aspectos de la naturaleza, y es de señalar que hay formas globales y particulares de presentar modelos, puesto que muchas veces los modelos globales llevan al estudiantes a conceptualizaciones muy generales que no permiten evidenciar los propios niveles de modelización-interpretación volviendo así sobre “intervenciones menos diferenciadas” (Krell; Upmeier; & Krüger, 2013).

Una vez destacados los aspectos anteriores a modo de motivación para que los docentes vean en la modelización un proceso enriquecedor del lenguaje y la metacognición, se hace un recorrido cronológico sobre la literatura principal en propuestas de modelización, entendiendo que esta aproximación se realiza de forma cronológica desde 1988 hasta el 2020, por citaciones y relevancia de acuerdo a bases de datos como Scopus, ERIC, Science Direct y el meta-buscador google scholar.

Un recorrido sobre la modelización en la enseñanza de las ciencias

Entre 1988 y 2000

Desde finales de los años setenta, Giere tiene publicaciones donde aborda la argumentación científica y es por ello que desde una concepción semántica comprende la ciencia desde una perspectiva cognitiva para llegar a abordar metaciencias, siendo estos y más postulados parte de sus documentos más citados. Ello no implica que el cognitivismo sea el único camino, pero hace parte de este recorrido por dar sustento desde la psicología de ese momento, que a su vez fundamenta la mayoría de propuestas en la enseñanza de las ciencias de la época dado que la preocupación era averiguar la forma en que mejor aprendían los estudiantes con dificultades.

Para 1988 este mismo autor logra destacar la filosofía y epistemología dentro de los procesos de enseñanza de las ciencias, pensando en una aproximación cognitiva entre los modelos, los sistemas reales y el conjunto de declaraciones de ciencia (Giere, 1988), entendiendo que este último se conforma por la teoría y el mundo real, en donde los modelos vienen a ser una "intersección" para interpretar el mundo; esto se explica con un diagrama triangular en donde la palabra que relaciona sistema real con modelo, es similaridad, y las declaraciones se unen con modelo mediante la palabra definición; así entonces se parte del modelo teórico como entidad abstracta, como un sistema de símbolos y de allí el hincapié para aludir a que comprender la naturaleza de las ciencias, implica el uso adecuado del lenguaje para poder llevar construcciones propias de las ciencias a otros planos que le hagan comprensible. Lo anterior es trayendo como ejemplo el impacto que tiene el uso de modelos para Giere y la forma general de concebir los modelos en ese momento histórico, aclarando que dicho documento es además una fuerte base para ahondar en asuntos de historia y filosofía de las ciencias.

Como parte de las subsiguientes contribuciones al campo en cuestión, se publica una propuesta en 1991, que apuesta por comprender las concepciones de estudiantes de secundaria al trabajar con modelos (Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991), pues los autores allí refieren tres niveles a considerar tras este procesos: primero, que los modelos pueden ser pensados como juguetes que están ayudando a copiar la realidad pero es necesario ampliar esta mirada de los estudiantes para que traten de incluir en sus modelos, la importancia de generar representaciones que pueden dejar por fuera algunos aspectos de la realidad. Segundo, entender que los modelos son interpretaciones de "la realidad" y ello puede ser desde un solo aspecto específico, que envuelve una construcción desde diferentes versiones, que mediante

trabajo colaborativo permite probar ideas y no solamente copiar la realidad. Tercero, el estudiante como autor de su modelo tiene un rol fundamental porque va sometiendo a pruebas el mismo para poder así construirlo como proceso cíclico.

Dichos niveles, proporcionan rigurosidad en lo que es modelizar, además de continuar con el necesario refinamiento que van realizando los mismos estudiantes; ello les hace parte del proceso para no trabajar solamente sobre modelos acabados, sino que lleva también a razonamiento de tipo abductivo en donde pueden generar premisas basadas en hipótesis (Magnani, Nersessian, & Thagard, 1999).

Visiblemente hay publicaciones anteriores desde finales de los años ochenta, pero cada vez van surgiendo propuestas que comienzan a tener en cuenta aspectos desde la psicología cognitiva y desde la importancia de la comunicación en ciencias. Así surge cuatro años más tarde, un método propuesto de modelización para clases de física en la escuela secundaria que abarca tres momentos o “cajas” como denominan los autores que orientan la propuesta (Wells, Hestenes, & Swackhamer, 1995). La “caja uno” hace referencia a las especificaciones de los modelos pensando en cada objeto/sistema desde su organización y composición, desde las propiedades básicas intrínsecas, luego la estructura y el comportamiento, para poder trasponer con modelos que se comprendan como sistemas con agentes constituyentes internos y externos, con variables y leyes. La “caja dos” refiere que los estudiantes comprenden el mundo físico cuando construyen y usan modelos científicos para describir, explicar y predecir fenómenos, pues adicionalmente ganan en cuanto a representar procesos matemáticos, diagramas y gráficas por estar evaluando constantemente sus construcciones para validarlas. La “caja tres”, hace alusión a un taller de modelización, en donde describen la importancia de incluir en los modelos el uso de tecnologías, viendo esto como articulación con otros espacios que deben estar sujetos a modificaciones del currículo, por ello se hace llamado a la flexibilización del mismo, y estas sugerencias aún hoy se siguen evidenciando en publicaciones que buscan mejoras desde distintos procesos didácticos. Es este documento, una propuesta organizada que contempla estudiante, docente y currículo para evitar la fragmentación del conocimiento en física mediante la modelización.

El nivel de abstracción de la matemática, de la física y la química; impulsan otras propuestas como la que sugiere Halloun (1997), denominada modelado de esquemas definido desde cinco dimensiones: la selección del modelo (preferiblemente un sistema individual y reconociéndolo desde la teoría), la construcción del modelo (composición y estructura del modelo procurando expresarlo matemáticamente), la validación del modelo (pensar en si cumple las necesidades o si se debe refinar o modificar), el análisis del modelo (validando si cumple los propósitos del ser construido, dando respuestas a cuestionamientos, permitiendo interpretar y justificar las respuestas) y el despliegue del modelo (una vez validado y analizado se debe extrapolar a la experiencia, tratando de llevarlo a nuevas situaciones para integrarlo una vez se ha refinado). Con esta propuesta se marca una importante pauta para la modelización, aludiendo al nivel de conmensurabilidad entre conceptos científicos y conceptos de los estudiantes ya que cognitivamente pueden desarrollar nuevas ideas, de allí que continúan vigentes estas dimensiones adaptadas para distintas experiencias actuales, en donde los mismos

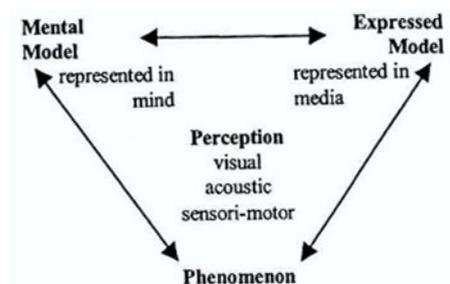
estudiantes se hacen parte del proceso al construir y mejorar gradualmente los modelos propios y de sus compañeros.

Y es que en diferentes artículos, se encuentran reflexiones similares por parte de los estudiantes cuando ellos fungen como pares, puesto que ello les permite ubicar sus destrezas y complicaciones a la hora de aprender, es decir, ellos mismos se catalogan como buenos o malos aprendices cuando son quienes revisan y mejoran sus modelos para hacer inferencias causales a través de sus diseños y experiencias, porque trabajar con modelos hace parte de las herramientas para el desarrollo del pensamiento científico (Zimmerman, 2000).

Tres años más tarde el libro desarrollo de modelos para enseñanza de las ciencias, cuenta en el capítulo 3 con la autoría de Gilbert & Carolyn (2000), y con un esquema sobre las tipologías de modelos para modos de representación simple o modos de mayor complejidad, desde categorías que permiten entrever esas formas de expresar modelos, como: material concreto que puede ser mediante modelos de 3D, simulaciones o replicas a escala, pictórico visual que incluye diagramas, dibujos, animaciones, videos de fenómenos, fotografías, verbal oral o escrita refiriéndose a procesos comunicativos usando metáforas, analogías, descripciones, formulación matemática que también implica uso de simuladores y de formulación química, corporalidad mediante gesticulación, movimiento de manos, actos al hablar. Esta categorización general, es un importante panorama de la versatilidad en lo que son considerados modelos, ya que hacen parte de la actividad cotidiana de aula sin ser conscientes de su alto potencial. Cada capítulo del documento, es dedicado a la aplicación de diferentes formas de modelizar fenómenos de las ciencias.

Figura 1.

Tomada de Gilbert & Carolyn (2000)



Esta clasificación de modelos facilita la adaptación de los mismos dependiendo los aspectos del mundo natural que se quieran explicar, pues para abordar una relación interactiva entre los modelos y los fenómenos, agregan una figura a modo de triángulo que relaciona el fenómeno natural, la forma en que se percibe o trabaja ese modelo (ya sea desde la percepción visual, acústica, sensomotriz) con el modelo que lo expresa (representación mediada) y a su vez con el modelo mental (representación mental). La

figura 1, es tal cual aparece en el documento en mención, que sintetiza los procesos de modelización desde aspectos relacionales entre las formas de adaptarles y usarles, por ser pauta para la didáctica y la psicología. El aporte radica en que hay una constante correlación entre los fenómenos naturales, el modelo mental y la expresión de esos modelos, pues esta triada está mediada por esas maneras de representación “material” que alimenta nuevas comprensiones sobre los fenómenos.

Alrededor de las distintas clasificaciones que se dan para referirse a los procesos de modelización, Clement (2000) insiste en el término de ecología conceptual como aquella mentalidad con la que ya un estudiante ingresa al aula, de lo que hace parte la disposición, su pensamiento metacognitivo y su actitud, siendo parte fundamental para poder dilucidar los posibles modelos o interpretaciones a las que llegue; sin embargo también se menciona la valor de los modelos intermedios o parciales como parte de poder llegar a objetivos de aprendizaje, menciona el autor que “al final, si el modelo objetivo reemplaza, domina o coexiste con las concepciones alternativas iniciales es una cuestión empírica que puede depender del dominio” (p.1043). Este documento suscita reflexiones en torno al cambio conceptual del que se hablaba en el momento, dado que los modelos aportan a la reestructuración de esas ideas iniciales, pero comprendiendo que es un proceso.

Hasta aquí, se evidencia una preponderancia por consolidar un ciclo adecuado para trabajar la modelización en el aula, examinando las fases o momentos que fortalezca metodologías, dado que muchos profesores podrían sentirse saturados de distintas perspectivas para enseñar ciencia, pero a la final se espera que también estén preparados para comprender las interpretaciones y formas de aprender cuando se media con modelización bajo los distintos esfuerzos por generar categorías, por reconocer como modelos distintos artefactos físicos, digitales y mentales, que mediados por una comunicación adecuada, fortalecen las interpretaciones de fenómenos para la enseñanza de las ciencias.

Continuando entre 2001 y el 2010

Los trabajos hasta ahora citados, son en su mayoría originales que se encuentran en inglés, siendo referentes en diferentes países que luego ayudan a la consolidación de la línea de modelización desde aportes en español provenientes tanto de España como de Latinoamérica, esto se debe mencionar dado que las participaciones en español actualizan y proponen también desde contextos y realidades distintas que implican lo ontológico, lo curricular, la formación continuada e incluso ya con el uso de Tecnologías de la Información y Comunicación.

De lo anterior que se revisen los aportes del documento titulado Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales, El concepto de modelo didáctico analógico, en el cual se enfatiza en comprender las ciencias como una construcción en comunidad científica, o de la ciencia erudita, que aterriza en la escuela con el uso de analogías, en el plano de la realidad y de lo cotidiano (Galagovsky & Adúriz-Bravo, 2001) postura que si bien hace parte de la revisión de otros autores, acentúan estas como representaciones significativas del contenido del modelo y como este puede ser transferido a otros campos de conocimiento, uno de los ejemplos más reconocidos y

allí citado es el del modelo atómico propuesto por Thomson como un pastel con pasas, analogía que seguramente sigue siendo usada.

Sin embargo se han encontrado publicaciones recientes de propuestas de aula sencillas que parecen tergiversas las analogías como categoría, como si fuese equivalente a los modelos mentales iniciales que desembocan en modelos materiales por el hecho de transformarse; esto se menciona para poner atención ya que si bien depende la categorización que da cada autor, una forma de concebir el poder de las analogías es que facilita en primera instancia, procesos de modelamiento mental (siempre usando comparaciones con otros sistemas más sencillos que son por sí mismos esas analogías) que luego se puede llevar al plano del lenguaje y al de la construcción de modelos concretos, sin que esto signifique que un modelo mental que se materializa, sea inmediatamente una analogía.

De esta forma, son distintas las propuestas que siguen emergiendo con categorizaciones que incluso procuran armonizar diferentes autores para dar cabida a modelos de otra naturaleza; por ejemplo, con el uso de mapas geográficos para identificar problemáticas ambientales o geológicas reales por coordenadas, que desde el conocimiento científico se pueden intervenir para dar solución (Longley, 2005), ello además implica el desarrollo de otras habilidades de pensamiento espacial y geográfico, dando más elementos de soporte al trabajo con modelos ya propiamente desde la geografía o los sistemas de información geográfica.

Felipe, Gallarreta, & Merino (2005) por otra parte, parten de dos grandes categorías de modelos; primero los modelos por su naturaleza y segundo por el criterio de elaboración. Dentro del primero incluyen la naturaleza teórica y las entidades tanto materiales como formales, que a su vez se constituyen por icónicos y analógicos, bien pudiendo ser estos modelos a escala, esquemáticos o distorsionados. El segundo grupo retoma como criterios de elaboración el tipo de relaciones (estructurales o dinámicas), la correspondencia estructural (icónicos o convencionales), el modo de representación (pictórico o formal) y el estatus ontológico como objeto o teoría. Estas categorías las analizan para luego exponer una experiencia de aula con la modelización en la enseñanza de la biología del desarrollo, aportando al campo de la didáctica de la biología por lo que implica modelizar sistemas que se complejizan desde lo celular hasta el funcionamiento fisiológico, de procesos que pueden ser vistos por los estudiantes durante el resultado de la gametogénesis pero que poco es comprendido a nivel celular.

Ello también conlleva a reflexiones hacia la formación de profesores, en donde se espera que el currículo se vea atravesado por propuestas contemporáneas, y con ello nos referimos al año 2005, es decir, quince años atrás, donde efectivamente es evidente (y sigue ocurriendo) que los temas en la escuela dejan del lado el análisis profundo de propuestas de modelización, porque no se conjuga con la planeación y la potencialidad que tienen para que los estudiantes aprendan mediante sus procesos pensando la biología de forma integral. De esta preocupación, se referencia una publicación llamada Los modelos como organizadores del currículo en biología,

reseñada aquí por el aporte que ofrece al ver en conjunto los modelos teóricos como todo un sistema constituido que va complejizando sistemas en lo que respecta a la biología, sin embargo la autora (García, 2005), contempla la célula, el ser vivo, ecosistemas y evolución como teorías constituyentes de la biología, postura con la que actualmente se difiere ya que siguiendo a Scheiner (2010), las cinco teorías generales de la biología (basadas en el flujo de materia y energía de forma jerárquica) son la celular, genética, organísmica, evolutiva y ecológica.

Continuando por la línea de la biología, pensar en un modelo de ser vivo involucra un nivel de generalidad o de complejidad dependiendo de la población con la que se quiera desarrollar la propuesta, así entonces Gómez Galindo (2005) trabaja con estudiantes de nivel primario para su tesis doctoral, proponiendo que los niños partan de modelos iniciales (sobre procesos de fertilización asistida) como producción individual para luego pasar al trabajo por modelos intermedios con mediadores analógicos con diferentes materiales. En dos fases siguientes de modelos intermedios propone el uso de analogías desde experimentos como el uso de bombas de jabón y modelos materiales con maquetas que ayudan a dar un acercamiento hacia los modelos científicos, de manera que luego con otro modelo intermedio sobre gotas de aceite, se pueda comparar con la bicapa lipídica, llegando a estas construcciones de forma colectiva entre compañeros y el profesor. Esta interesante propuesta basada en la complejización del conocimiento es adaptada de Clement (2000) y tiene en cuenta que finalmente el profesor es un acompañante en el proceso de aprendizaje.

La mayoría de propuestas sobre modelización, configuran adaptaciones de otros autores para poder aplicarla a algún concepto estructurante desde las ciencias, así como Justi (2006) hace un importante recorrido por autores principales y sugiere a Morrison y Morgan (1999) como quienes destacan la modelización desde aspectos como: el proceso de construcción, la función de los modelos por ser instrumentos de relación con otras cosas, el poder de la representación de los modelos y el aprendizaje por ayudar a crear estructuras representativas. Con ello, la autora presenta un modelo propio para construcción de modelo, adaptado de ella junto con Gilbert en 2002, ellos enfatizan en partir de la definición de objetivos para que de forma paralela se seleccione el origen del modelo y tener una experiencia con el objeto a modelizar, así se continua hacia la elaboración de modelos mentales para modificarlo en caso de distar demasiado de lo que se espera, o validarlo si se considera un modelo correcto.

El ya mencionado diagrama, es presentado por los autores a modo de flujograma, en donde podría discurrir en otras propuestas que no hablan de modelos correctos o incorrectos, sino que los estudiantes pueden hacer tales modelizaciones o conjeturas nuevas reinterpretando a su modo los fenómenos naturales; de allí la importancia de la formación del profesor para poder acompañar de manera adecuada los procesos intermedios de modelos. Y es que esta inquietud genera propuestas para que los profesores aprendan a indagar y modelizar para poder hacer uso de ello en la práctica educativa, siendo ideal desde temprana edad.

La propuesta que se menciona a continuación se desarrolló con niños de 7 y 8 años sobre la comprensión que tienen de distintos materiales (Acher, Sanmartí, & Graças, 2007), allí los autores aportan algunas reflexiones (más que un modelo para el desarrollo de modelización) que de igual forma constituye resultados útiles para otras intervenciones a nivel escolar primario. Se destaca el papel de la comunicación como varios puntos de vista desde la individualidad, pero también como aspectos comunes al pensar de forma grupal, así entonces el profesor es el encargado de orientar esos procesos de modelización, de seleccionar ideas expresadas conjuntamente para ayudar a redefinir. La construcción de modelos también permite identificar momentos metacognitivos de reflexión sobre lo aprendido y los cambios en lo que cada estudiante pensaba inicialmente. Así pues, se destaca el lenguaje en este documento como central para el nivel de la población mencionada.

Por otra parte, ante intervenciones a nivel secundario se esperaría el uso del lenguaje científico con mayor propiedad, y una publicación sobre física general lleva a los autores a proponer un diagrama en el que se piensa la modelización como base de la física, y que hasta inicios de formación universitaria implica relaciones entre dos mundos: el modelo teórico y el mundo objeto-evento (Sensevy, Tiberghien, Santini, Laubé, & Griggs, 2008). Por ende, las actividades y experimentos diseñados para una secuencia de enseñanza, deben propender porque los estudiantes construyan relaciones entre elementos teóricos y eventos, así se espera mayores trabajos en este sentido por la baja comprensión de los modelos por parte de los estudiantes, además de las dificultades comunicativas a pensar de estar finalizando su paso por la escuela.

De acuerdo con Henze, van Driel, & Verloop (2008) los docentes suelen ver los modelos como útiles para enseñar sobre el contenido de ciencias, pero no sobre la naturaleza de la ciencia y esto se constituye en un problema, así entonces como solución proponen un trabajo con profesores desde la perspectiva Conocimiento Pedagógico del Contenido (PCK) en torno a la modelización de sistema solar. Por ello estas propuestas logran evidenciar metodologías de aula y mejorar los procesos tras ser investigados, o, así como otros investigadores dedican sus publicaciones a mejorar y actualizar las propuestas de modelado, es parte de la consolidación del campo aplicar diseños didácticos para otro tipo de reflexiones. Las perspectivas histórica y filosófica, son un reflejo de la interpretación de modelo que hace un profesor y de allí la necesidad de que este, no presente una mirada triunfalista de las ciencias sino que sea crítico sobre su propia postura (Izquierdo-Aymerich, García-Martínez, Quintanilla, & Adúriz-Bravo, 2016), de aquí que se haga énfasis en la necesidad de trabajar en formación de formadores para mejorar las prácticas de aula.

Es importante retomar como uno de los aportes principales, el documento *Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners* (Schwarz et al., 2009), en donde se proponen fases para el modelado, esto mediante una rúbrica con 5 categorías que denominan: temas de prácticas de modelado, construir, evaluar, revisar y utilizar (p. 44), esquema que no pierde de vista el metamodelado, que es la posibilidad de llevar la modelización hacia procesos metacognitivos para el aprendizaje de las ciencias, pues así “se

construyen ideas epistemológicas más fructíferas que pueden ayudar a los estudiantes a razonar mejor sobre evidencia científica e integrar mejor su conocimiento conceptual” dicen Driver y colaboradores 1996; Songer y Linn, 1991 (citados por Schwarz & White 2010).

Con lo anterior se enlaza a Schwarz & White (2010), como parte de los principales referentes por proponer ocho fases metodológicas para modelizar que son: primero construir un modelo inicial (como punto de partida y contextualización del maestro con su grupo de estudiantes), segundo construir el modelo (reflexionando sobre la fase uno y orientando para complementar), tercero probar el modelo (pasando por sustentos teóricos y experimentación que facilitan explicaciones), cuarto evaluar el modelo (tanto docente como estudiantes evalúan el modelo y sugieren cambios a partir de la fase teórica ya desarrollada), la fase cinco es prueba el modelo contra otras ideas (el profesor está atento por si alguien necesita regresar a lo teórico y revisar experimentos para fundamentar sus modelos), sexta fase revisar el modelo (los estudiantes vuelven sobre sus modelos iniciales para reconocer las construcciones generadas sobre la marcha identificando los aportes teóricos o nuevos saberes), fase siete, usa un modelo para predecir o explicar (aquí posibilita que el estudiante pueda llevar su modelo a otra fase al analizarlo y contrastarlo con modelos más elaborados pero que finalmente les permita consolidar sus aprendizajes), finalmente la fase ocho (consiste en repetir la secuencia de modelado: rehaciendo el modelo desde un refinamiento conceptual y mejor elaborado.

La estructura mencionada en el párrafo anterior, es de las más referenciadas para posteriores adaptaciones o propuestas sobre la modelización para enseñanza no solo de la física sino también de otras ciencias a nivel escolar y de educación superior, que a su vez toma como fuentes principales algunos de los textos ya referenciados desde los años 80.

Otra tipología propuesta de modelos para la ciencia escolar (Harrison & Treagust, 2010), presenta tres aspectos que denominan FAR por sus siglas en inglés que significa Focus (conceptos, estudiantes, analogías), Action (lo que les gusta y no le gusta tanto), Reflection (conclusiones y mejoras); esto como guía para los procesos de enseñanza aprendizaje con analogías y el uso de modelos. Como categorías de modelos mencionan tres: primero, modelos científicos didácticos refiriendo por ejemplo modelos a escala como animales o modelos analógicos como átomos. Segundo, modelos analógicos pedagógicos que construyen conocimiento conceptual, refiriendo iconos y símbolos como cadenas de carbonos y modelos matemáticos. Tercero, modelos que representan múltiples conceptos y procesos como mapas, tablas, simulaciones modelos mentales y sintéticos como concepciones sobre evolución donde combinan cuestiones intuitivas con las científicas.

Es para destacar de la propuesta anterior, la síntesis que se logra en las etapas o fases de modelización para incluir ideas previas, intereses de aprendizaje y reflexiones en torno a esos modelos de los estudiantes, porque así se facilita la

comprensión de profesores con interés en incursionar en procesos de modelización sin contar con gran experticia. Esto se menciona porque no se puede dejar de lado la realidad que conocemos sobre muchos profesores que desconocen este tipo de metodologías para la enseñanza de las ciencias pero que tienen iniciativas por estar a la vanguardia.

Siempre que se hable de propuestas categoriales para los modelos, a partir del año 2000 suele estar un importante referente en español llamado una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias, debido a que el autor explica con gran claridad la forma de pensar que los modelos pueden ser de acuerdo a analogías mentales, materiales y /o matemáticos, pueden ser de acuerdo a la parte o porción de mundo que se quiera trabajar, bien sea una idea, un objeto, un sistema o incluso procesos completos; también pueden ser de acuerdo a un contexto didáctico o científico (Chamizo, 2010), así como se muestra en la figura 2.

Figura 2.

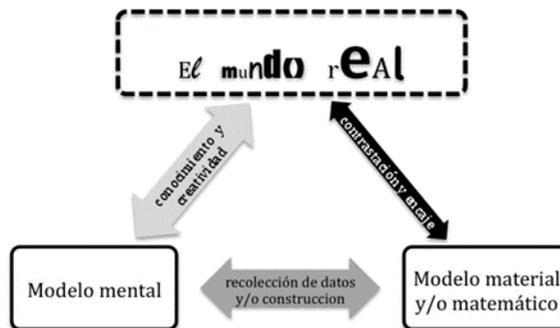
Tipos de modelos, tomado de Chamizo (2010).



El autor toma como referentes algunos de los documentos ya mencionados, sin embargo, su publicación incluye imágenes para la diferenciación de dichas categorías y adicionalmente trabaja las representaciones sobre modelos, que tienen personas expertas y no expertas de este campo, logrando llegar a proponer la figura 3 para que los profesores tengan esta mirada sobre lo que es el “mundo real” modelando mentalmente desde la creatividad y contrastado al llevarlo a modelos materiales.

Figura 3.

Mundo real a través de modelos, tomado de Chamizo (2010).



Hasta este segundo momento, se entrevén distintas propuestas por fortalecer aspectos metodológicos y curriculares en cuanto al uso de la modelización, a interpretar y consolidar la forma en que los modelos conectan ese mundo científico con las ideas de ciencia en el aula, ya que se hace referencia al cambio conceptual o las bases desde la psicología cognitiva a modo de antecedente, pues se hace parte de una sólida base epistémica que sigue abriendo opciones para comprender la forma en que se usan modelos para la enseñanza y las interpretaciones de los estudiantes sin quedarse como simples trasposiciones, sino que su lenguaje hace parte de ese pensamiento meta-cognitivo.

Aportes desde 2010 hasta la actualidad

Abriremos este apartado volviendo sobre las propuestas que propenden por formar docentes, debido a que hacer esto es ir a la raíz del proceso, pues profesores bien formados inmediatamente da expectativas sobre niños de nivel primario bien informados en ciencias que pueden llevar su pensamiento concreto al abstracto a más temprana edad en tanto inicien procesos de modelización en el aula. El trabajo de Kenyon, Davis, & Hug (2010) da cuenta de un arduo esfuerzo en el que tras varios años de formación de profesores con la perspectiva PCK, les brindan herramientas para poder trabajar metamodelado en niveles primarios, pero indagando primero desde cuestiones epistémicas, la mirada de los mismos profesores. Como resultado encuentran que se requiere de la participación continua de modelado (construir, usar, evaluar y revisar modelos) de los profesores en formación para que también autorregulen sus currículos y planeaciones.

Por la misma línea, se encuentran a (Krell; Upmeier; & Krüger, 2013), partiendo de lo importante que es conocer modelos para comprender la naturaleza de las ciencias, y de allí que diseñan niveles de comprensión sobre modelos, desde la perspectiva de estudiantes, profesores o expertos en Berlín Alemania. La contribución principal de este documento, es la evaluación de tres niveles, compuestos por cinco categorías que les atraviesa: la naturaleza de los modelos, los modelos múltiples, el propósito de los modelos, los modelos de prueba y los modelos cambiantes, esto basados en Belzen & Kruger (2010), donde cada nivel tiene distintas implicaciones, por ejemplo respecto a la categoría ya mencionada de naturaleza del modelo, el nivel uno involucra replicaciones del modelo original, para el nivel dos la representación idealizada de la original y el nivel tres ya implica la reconstrucción teórica del modelo original. En el documento también se presentan discusiones sobre propuestas de modelos acorde a las necesidades de aprendizajes contextualizados.

Con el paso del tiempo se evidencia como en cada publicación se van involucrando más perspectivas epistemológicas que siguen sustentando la modelización como significativa para todos los implicados en el proceso de enseñar y aprender ciencias. Llama la atención por supuesto la inserción de herramientas tecnológicas para modelizar, así se despliegan otras líneas desde las TIC dada la facilidad de acceso para todos no solo desde la escuela, y adicionalmente la motivación de trabajar bien sea online u offline. Así, nos remitimos a Baek & Schwarz (2014), que publican sobre la influencia del plan de estudios, la instrucción, la tecnología y las interacciones sociales en las epistemologías de dos estudiantes de quinto grado en el modelado a lo largo de una unidad de plan de estudios basada en modelos, quienes indudablemente desde el lenguaje justifican epistémicamente los modelos que diseñaron y sus ideas. Es una experiencia con dos estudiantes pero que, para el caso, da una mirada interesante sobre el trabajo con niños.

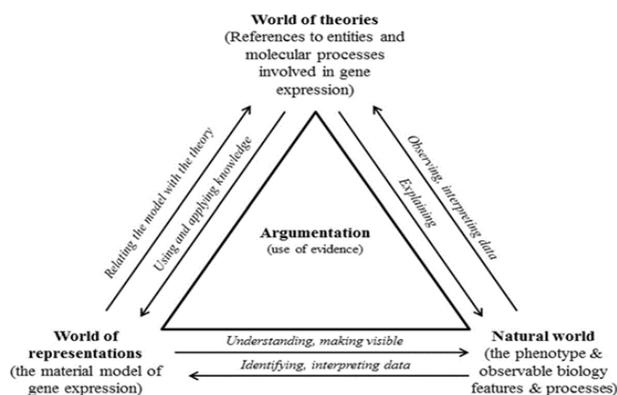
Utilizar otros referentes no tan cercanos a la modelización es válido en tanto se logren adaptaciones que aporten al campo en cuestión. Por ejemplo Herrera (2016), hace uso del diagrama “V” de Gowin (que ilustra elementos conceptuales y metodológicos que interactúan en el proceso de construcción del conocimiento, desde lo que implica el dominio teórico como el “pensar”, hacia el dominio metodológico como el “hacer”), proponiendo como dominios secundarios de “pensar”, el modelo de ciencia escolar, los conceptos de enseñanza, los supuestos didácticos, las variables pensadas como actividades organizadas y los conocimientos previos sobre conocimiento profesional. En el “hacer”, propone los subdominios: valoración de la práctica, resultados al observar aula y discurso y diseño de indagación con 7 momentos que mencionan instrumentos para hacer intervención del aula.

Adicionalmente diseña un diagrama que consolida diversas propuestas implicando 4 ejes en un recuadro, denominados: hacer ciencia escolar (en la parte superior), lenguaje-argumentación (en la parte inferior), pensar (en el lado izquierdo) y modelos (del lado derecho); en el centro están presentes las relaciones entre los hechos de las ciencias y los modelos que ayudan a los estudiantes a llegar allí, siempre con el profesor como quien busca esos hechos relevantes.

Estos diseños metodológicos permiten reconocer habilidades de investigación científica, por ello los modelos de eventos u objetos, invitan a generar y estudiar las representaciones, y es que el lenguaje científico no es sencillo y además tampoco es de interés para la mayoría de estudiantes, sobre todo cuando los procesos no son fácilmente aprehensibles como por ejemplo en la genética; en vista de la dificultad de trabajarle en educación secundaria, surge una propuesta que espera reconocer las operaciones argumentativas de los estudiantes cuando trabajan genética desde el uso de modelos (Puig, Ageitos, & Jiménez-Aleixandre, 2017). Entonces exponen un diagrama que, aunque tenga elementos que ya se han mencionado, recoge también relaciones más complejas entre el mundo de las teorías, el mundo natural y el de las representaciones, sabiendo que la argumentación es la evidencia de dichas relaciones, como se observa en la figura 4.

Figura 4.

Los tres mundos del conocimiento y sus relaciones. (Puig et al., 2017).



Así entonces el lenguaje desde la argumentación es la evidencia que permite hacer interpretaciones frente a los procesos de modelizado de los estudiantes, pues relacionar el mundo de las teorías con las representaciones, lleva implícito el uso de analogías; así como el mundo de las representaciones con el mundo natural se comprenden cuando se sabe interpretar datos. Entonces se evidencia que el lenguaje como centro del triángulo, viene siendo estudiado desde los inicios de los modelos científicos para enseñar ciencias. Adicionalmente, el trabajo colaborativo incide en el desarrollo de habilidades con el uso de modelos, y ello se menciona como resultado de una investigación en la que se involucran estudiantes de biología para modelamientos científicos, pero de forma grupal para reconocer en sus justificaciones las implicaciones del trabajo en grupo (Bierema, Schwarz, & Stoltzfus, 2017).

Allí una de las conclusiones es que los estudiantes pueden diseñar modelos en grupo de forma más eficiente que cuando lo hacen de manera individual, beneficiándose del aprendizaje colaborativo, y se sugiere como metodología de

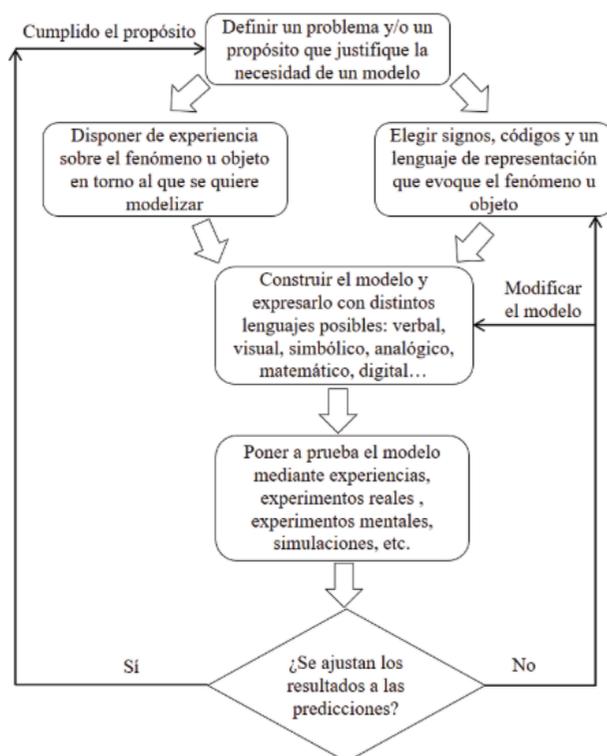
trabajo con grupos no tan numerosos para que los docentes puedan tener mayor control de la actividad e identificar los problemas que presentan los estudiantes (Bierema et al., 2017).

Y es que, volviendo sobre la idea ya mencionada de la influencia de las TIC para modelizar se incluyen herramientas que aportan para el desarrollo de nuevas habilidades y competencias, resaltando que son mediadoras, pues la tecnología por si sola solamente digitalizaría la información. Esto es lo que investigan los autores al cuestionarse sobre “¿Cómo ayuda la Pizarra Digital Interactiva (PDI) a la hora de promover prácticas de indagación y modelización en el aula de ciencias?” (López, Grimalt-álvaro, & Couso, 2018). Ocurre que las dinámicas que implica usar imágenes, videos y otros recursos desde la pizarra, facilita el pensamiento concreto por ser un recurso visual, y los autores mencionan que se da mayor interacción dialógica y colaborativa. Así como el trabajo de Merino & García (2019), quienes mediante realidad aumentada, buscan que estudiantes de nivel secundario logren interpretar espectros de emisión y la naturaleza dual de los electrones, en donde tras la aplicación de actividades de modelización, identifican que hay un fomento progresivo en nivel de comprensión y abstracción, pues además el uso de herramientas tecnológicas con las que no se contaba en las décadas anteriores para la enseñanza, complementa esta mirada sobre el uso de modelos.

Hasta el momento se habrá notado que algunos autores usan el término modelos, modelizar, o modelización, pero ello se corresponde con el proceso al que se refieran inicialmente, si es la interacción con el mundo teórico o real, sin embargo; a estas alturas se considera a manera personal que no son procesos alejados sino que tienen el mismo propósito de acercar primero a los estudiantes a los modelos de ciencia para que luego modelicen desde sus procesos de construcción en el aula, y esta importante reflexión la sintetiza el trabajo llamado Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias (Oliva, 2019), quien mediante un modo de diagrama de flujo sintetiza las propuestas de los principales autores (ya mencionados en su mayoría) acerca de modelizar, como una construcción propia que recoge los propósitos y señalados.

Figura 5.

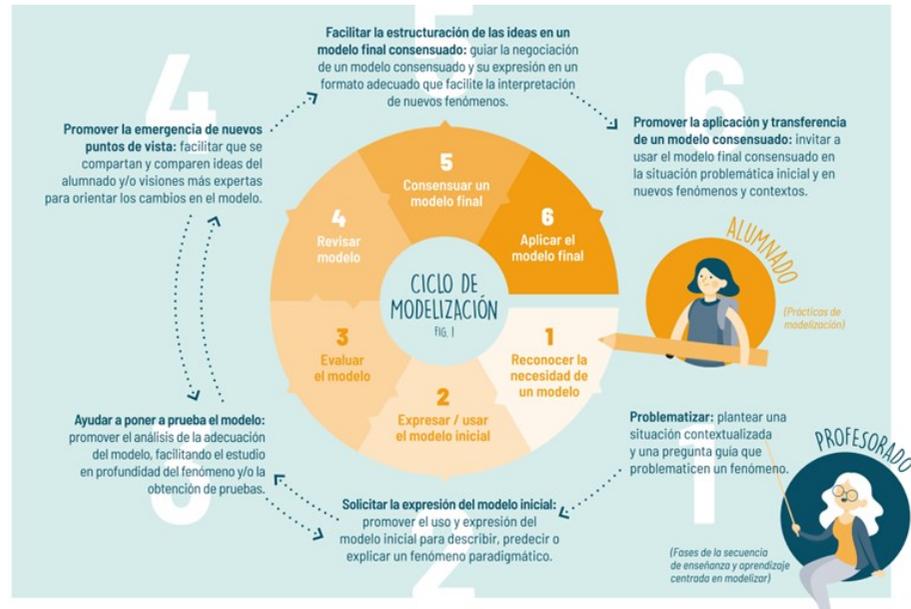
Ciclo de modelización (Oliva, Nºº5)



Allí se observan los principales elementos que consolidan la modelización, de una forma armónica para el desarrollo de estos ciclos en la enseñanza de las ciencias. Recoger y proponer una secuencia organizada de actividades que tenga la modelización como centro, implica considerar siempre como protagonista del proceso al estudiante, y una propuesta que sintetiza bien los momentos adecuados para ello, y que se comparte, es la que se presenta en la figura 6 (Couso, 2020), en donde se alude a seis momentos en que el profesor va a orientar a sus estudiantes, siempre con la claridad de como promover el uso del lenguaje en los procesos iterativos hasta el refinamiento. Es entonces fundamental que sean los estudiantes quienes identifiquen la necesidad de generar un modelo para luego expresarlo, evaluarlo, revisarlo, llegar a consensos y usarlo. Este diagrama además se presenta de una forma clara para que sea sencillo de interpretar por maestros y darle uso en el aula.

Figura 6.

Fases de la secuencia de enseñanza y aprendizaje centrada en modelizar, (Couso, 2020).



Esta figura 6 se basa en las fases de la secuencia principales, sin embargo, aunque no hace alusión a la inclusión de tecnologías, es fácilmente adaptable.

Así finalmente se puede reflexionar sobre como con la actualización de distintos recursos como Ambientes Virtuales de Aprendizaje, Objetos Virtuales de Aprendizaje, aplicaciones, internet, juegos, mapas interactivos, softwares especializados y muchas otras herramientas, se destacan procesos de pensamiento desde la modelización, pues muchos objetivos iniciales para enseñanza de las ciencias pueden implicar procesos matemáticos, de diseño, e incluso ingenieriles (que involucran de forma transversal aspectos de cultura, de arte y más) y de allí viene tomando fuerza otra mirada que se fundamenta desde la modelización y el lenguaje pero con otros adicionales que le hacen reconocerle ya desde fundamentos epistémicos, psicológicos, históricos y didácticos como STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemática), puesto que las exigencias en competencias actuales requieren de interdisciplinariedad y ello ya involucra la participación de distintos profesores, no solo desde ciencias para un pensamiento más complejo (Couso & Simarro, 2020).

Principales aportes de la revisión para modelizar en clase de ciencias

Esta revisión que bien aporta a la modelización en ciencias en general, es además un interés particular para evidenciar la necesidad de apoyar desde propuestas didácticas, el uso de herramientas tecnológicas, programas y softwares en las construcciones de los estudiantes, para que se trabaje de forma paralela la idea científica a desarrollar y habilidades tecnológicas propias de un contexto que les exige ser competentes en ello, y

que adicionalmente funge como elicitador del lenguaje para reconocer las interpretaciones y aprendizajes en ciencias.

Argumentación en ciencias mediada por la modelización

Uno de los objetivos de la modelización para la enseñanza de las ciencias es el valor cognitivo que tiene la argumentación científica, debido a que desde esa perspectiva el argumento involucra el razonamiento para luego llevar a la externalización del pensamiento, idea apoyada por Billig (1987) y Kuhn, (1992) en Erduran, Simon, & Osborne (2012), quienes retoman bases teóricas importantes de Vygotsky (1978) sobre la importancia del lenguaje cuando “se asume una función intrapersonal además de su uso interpersonal”, debido a que cuando los niños participan en dicho proceso y se apoyan mutuamente en argumentos de alta calidad, la interacción entre las dimensiones personales y sociales promueve la reflexividad, la apropiación y el desarrollo del conocimiento, las creencias y los valores.

Desde las perspectivas socioculturales sobre la cognición, la argumentación es una herramienta crítica para el aprendizaje de las ciencias, ya que permite a los alumnos la apropiación de las prácticas comunitarias, incluido el discurso científico (Kelly, Druker, & Chen, 1998). Si la inculturación en el discurso científico es importante para el aprendizaje de las ciencias, entonces es imperativo estudiar dicho discurso para comprender cómo se puede rastrear, evaluar y apoyar la enseñanza y el aprendizaje de la argumentación (Duschl & Osborne, 2002). Así, la mejora y el desarrollo de herramientas para capturar la implementación de características significativas de la argumentación se convierte en una preocupación importante para la investigación en educación científica (Erduran et al., 2012), por ello la invitación a ser conscientes de las potencialidades y usos de los modelos para la argumentación científica escolar.

Modelizando aprendemos todos

Pensar a través de modelos supone establecer relaciones entre “lo real” y “lo construido” y desarrollar una visión multicausal considerando simultáneamente más de una variable, con la finalidad de poder predecir y explicar. Llamamos modelización al proceso de construcción de estas relaciones que consideramos clave para aprender ciencias puesto que a través de él los estudiantes aprenden a dar sentido a los hechos de su mundo utilizando modelos cada vez más complejos (García, 2005, p.5) y hoy en día hay diversidad de tecnología para poder usar la misma en las mediaciones.

Recurrir a la modelización como estrategia de aula carga como mensaje para los profesores, la importancia de seleccionar los contenidos pensando en ellos como relevantes para la vida diaria y la necesidad de nuestros estudiantes por aprender de forma más profunda en lugar de amplia (Garrido Espeja & Couso, 2020), dado que los modelos delimitan y llevan a niveles de pensamiento deductivo, inductivo y abductivo, en el intento de proponer mejores explicaciones.

La modelización desde su postura cognitivista permite que este campo se expanda cada vez más, por la importancia que tiene el conocimiento relacional para los estudiantes, tanto para aprender modelos específicos como para transferir

conocimientos a contextos novedosos (Kokkonen, 2017), apoyados por ejemplo en las analogías que confluyen en la comprensión y abstracción de la ciencia.

Así después de esta revisión, se reconoce que aunque algunas publicaciones no alcancen altos índices de citación, siempre son aportes en el campo que pueden mejorar procesos de enseñanza de las ciencias en pequeños o apartados lugares, lo importante es lograr esa circulación de la información al darse a la tarea como profesores de registrar estas intervenciones que muchas veces quedan allí para el profesor y su diseño privado, sin divulgación; por ello en medio de estas búsquedas se reflexiona sobre la motivación e iniciativa para sumar a más profesores a construir como comunidad con objetivos similares que partan de la modelización a pesar de los contextuales particulares.

Este documento de revisión se presenta desde una cronología pertinente, que en el cierre de cada década destaca algunas generalidades sobre la modelización, que primero se consolida desde la psicología cognitiva para luego preocuparse por categorizar los modelos por su incidencia en el aula para el aprendizaje, y así profundizar en las implicaciones curriculares, meta-cognitivas y del lenguaje como medio de reconocimiento de las interpretaciones de los estudiantes, para hacerle más exequible de ser llevada a la aula, que también con el tiempo cuenta con la ventaja de las TIC como apoyo mediador y modelo mismo. Se espera que esta revisión sea antecedente para propuestas didácticas y teóricas para el trabajo desde la modelización.

Bibliografía

- Abella, S. (2019). Inclusión Digital y Enseñanza de las Ciencias. En *Inclusión Digital y Enseñanza de las Ciencias Aprendizaje de competencias del futuro para promover el desarrollo del Pensamiento Científico* (pp. 169–194). Recuperado de <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- Acher, A., Sanmartí, N., & Graças, M. (2007). Modeling as a Teaching Learning Process for Understanding Materials: A Case Study in Primary Education. *RWiley Periodicals, Inc*, (3), 398–418. <https://doi.org/10.1002/sce>
- Baek, H., & Schwarz, C. V. (2014). The Influence of Curriculum, Instruction, Technology, and Social Interactions on Two Fifth-Grade Students' Epistemologies in Modeling Throughout a Model-Based Curriculum Unit. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2–3), 216–233. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9532-6>
- Bierema, A. M. K., Schwarz, C. V., & Stoltzfus, J. R. (2017). Engaging undergraduate biology students in scientific modeling: Analysis of group interactions, sense-making, and justification. *CBE Life Sciences Education*, 16(4), 1–16. <https://doi.org/10.1187/cbe.17-01-0023>
- Billig, M. (1987). *Arguing and thinking: A rhetorical approach to social psychology*. Cambridge: Cambridge University
- Chamizo, J. A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Eureka*.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041–1053.
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En Couso D & J. . Jimenez-Liso, M.R., Refojo, C. & Sacristán (Eds.), *Enseñando ciencia con ciencia* (Fundacion, pp. 63–73).
- Couso, D., & Simarro, C. (2020). STEM Education Through the Epistemological Lens. *Handbook of Research on STEM Education*. <https://doi.org/10.4324/9780429021381-3>
- Duschl, R., & Osborne, J. (2002). Supporting and promoting argumentation discourse. *Studies in Science Education*, 38, 39–72
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2012). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's Argument Pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915–933. <https://doi.org/10.1002/sce.20012>
- Felipe, A. E., Gallarreta, S. C., & Merino, G. (2005). La modelización en la enseñanza de la biología del desarrollo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(3), 1–33.

- Galagovsky, L., & Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 231–242. Recuperado de <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21735/21569>
- García, P. (2005). Los modelos como organizadores del currículo en biología. VII Congreso Internacional de Investigación en Enseñanza de las Ciencias, (1988), 1–6.
- Garrido Espeja, A., & Couso, D. (2020). Science Teacher Education for Responsible Citizenship. En *Science Teacher Education for Responsible Citizenship* (Springer N, pp. 153–171). Barcelona.
- Giere, R. N. (1988). *EXPLAINING SCIENCE A COGNITIVE APPROACH* (The Univer). Chicago.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Rutherford, M. (2000). Chapter 10 Explanations with Models in *Science Education*, (1965), 193–194.
- Gilbert, J. K., & Carolyn J., B. (2000). *Developing Models in Science Education*. Springer Science.
- Gómez Galindo, A. A. (2005). La Construcción de un modelo de ser vivo en la escuela primaria una visión escalar. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). Universitat Autònoma de Barcelona. Recuperado de <http://www.tdx.cat/handle/10803/4711>
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding Models and their Use in Science : Conceptions of Middle and High School Students and Experts, 28(9), 799–822.
- Grünkorn, J., zu Belzen, A. U., & Krüger, D. (2014). Assessing students' understandings of biological models and their use in science to evaluate a theoretical framework. *International Journal of Science Education*, 36(10), 1651-1684.
- Halloun, I. (1997). Schematic Concepts for Schematic Models of the Real World The Newtonian Concept of Force.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2010). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(September), 1011–1026. <https://doi.org/10.1080/095006900416884>
- Henze, I., van Driel, J. H., & Verloop, N. (2008). Development of experienced science teachers' pedagogical content knowledge of models of the solar system and the universe. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1321–1342. <https://doi.org/10.1080/09500690802187017>
- Herrera, E. (2016). Indagación y modelización con el diagrama Uve de Gowin en la formación inicial del profesorado de ciencias de Educación Secundaria /. Recuperado de <https://ddd.uab.cat/record/175794>
- Izquierdo-Aymerich, M., García-Martínez, Á., Quintanilla, M., & Adúriz-Bravo, A. (2016). Historia, Filosofía y Didáctica de las Ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias.

- Justi, R. S. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS*, 24(2), 173–184.
- Kelly, G. J., Druker, S., & Chen, C. (1998). Students' reasoning about electricity: Combining performance assessments with argumentation analysis. *International Journal of Science Education*, 20(7), 849–871. <https://doi.org/10.1080/0950069980200707>
- Kenyon, L., Davis, E. A., & Hug, B. (2010). Design Approaches to Support Preservice Teachers in Scientific Modeling. En *Journal of Science Teacher Education* (Vol. 22, pp. 1–21). <https://doi.org/10.1007/s10972-010-9225-9>
- Kokkonen, T. (2017). Models as relational categories. *Science & Education*, 26(7), 777–798.
- Krell, M., Upmeier, A., & Krüger, D. (2013). Students' Levels of Understanding Models and Modelling in Biology: Global or Aspect-Dependent?, 109–132. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9365-y>
- Kuhn, D. (1992). Thinking as argument. *Harvard Educational Review*, 62, 155–178.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2005). *Geographic Information Systems and science*. John Wiley & Sons.
- López, V., Grimalt-álvaro, C., & Couso, D. (2018). ¿Cómo ayuda la Pizarra Digital Interactiva (PDI) a la hora de promover prácticas de indagación y modelización en el aula de ciencias ? ¿Cómo ayuda la Pizarra Digital Interactiva (PDI) a la hora de promover prácticas de indagación y modelización en e, 15.
- Lozano, M. E. E. (2003). Diseño, implementación y evaluación de una unidad didáctica para la enseñanza de modelos de membrana celular en la formación biológica del profesorado, con aportes de ideas metacientíficas provenientes del eje naturaleza de la ciencia. Universidad Nacional del Comahue - Facultad de Ingeniería Doctorado en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales.
- Magnani, L., Nancy J. Nersessian, & Thagard, P. (1999). Model-Based Reasoning in Scientific Discovery. En Springer Science+Business Media, LLC. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4813-3>
- Merino, C., & García, Á. (2019). Incorporación de realidad aumentada en el desarrollo de la visualización. Un estudio con estudiantes de secundaria en torno al modelo atómico. *Pensamiento Educativo*, 56(2), 1–23. <https://doi.org/10.7764/PEL.56.2.2019.6>
- Morrison, M., & Morgan, M.S. (1999). Models as mediating instruments. In Morgan, M. S., & Morrison, M. (Eds.). *Models as mediators*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5–24. <https://doi.org/10.5565/REV/ENSCIENCIAS.2648>
- Puig, B., Ageitos, N., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2017). Learning Gene Expression Through Modelling and Argumentation. *Science & Education*, 26(10), 1193–1222. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9943-x>
- Santo, E. M. (2006). Os manuais escolares, a construção de saberes e a autonomia do aluno. Auscultação a alunos e professores. *Revista Lusófona de Educação*, Vol.8(2), 103–115. <https://doi.org/10.25267/Rev>
- Scheiner, S. M. (2010). TOWARD A CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR BIOLOGY. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 85(3), 293–318. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., ... Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2010). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *COGNITION AND INSTRUCTION*, 0008 (January), 165–205. <https://doi.org/10.1207/s1532690xciz302>
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S., & Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92(3), 424–446. <https://doi.org/10.1002/sce.20268>
- Svoboda, J., & Passmore, C. (2013). The Strategies of Modeling in Biology Education, (December 2011), 119–142. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9425-5>
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in society the development of higher psychological processes*.
- Wells, M., Hestenes, D., & Swackhamer, G. (1995). A modeling method for high school physics instruction. Department of physics and astronomy, box 871504 Arizona State University Tempe Arizona 85287-1504, 606(May 2013). <https://doi.org/10.1119/1.17849>
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967. <https://doi.org/10.1002/sce.20259>
- Zimmerman, C. (2000). The Development of Scientific Reasoning Skills. *Developmental Review* (Vol. 20). <https://doi.org/10.1006/drev.1999.0497>