
CAPÍTULO I
**SECUENCIAS DIDÁCTICAS Y EL CONTENIDO
DE ENSEÑANZA**

*Ángel Daniel López y Mota**

Este capítulo plantea el desafío que presenta el abordaje de problemas sociales con sustento científico –bajo una visión de modelos– para el campo de la didáctica de las ciencias o educación en ciencias. Ello, con perspectivas de su incorporación en las aulas como contenido de enseñanza en forma de secuencia didáctica, a partir del fenómeno de la obesidad humana. Además, introduce las dimensiones metacientíficas –epistemológica y cognitiva–, presenta los principales conceptos científicos del campo –actividad científica escolar, modelos científicos escolares, entre otros– y refiere el quehacer metodológico –uso del concepto de Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA)–, para incorporar la visión de modelos en el diseño y validación de secuencias didácticas.

De esta manera, el abordaje de este capítulo incluye:

* Profesor-investigador de la Universidad Pedagógica Nacional-Ajusco, México, <alopezm@upn.mx>

EL CAMPO DE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS (DC)¹

Esta sección describe a grandes rasgos la existencia de un campo de generación de conocimiento autónomo –el de la DC–, por lo tanto, de un ámbito científico de doble justificación: por dedicarse a generar conocimiento didáctico y por hacerlo en el espacio de las ciencias naturales/experimentales llevadas al campo educativo para su enseñanza y aprendizaje. La DC incluye, además, la investigación sobre la forma en que los estudiantes piensan los fenómenos y conceptos científicos, asociada con el diseño y validación de secuencias didácticas generadas para transformar la manera de pensar de los estudiantes y hacerla más afín a los planteamientos científicos.

En este sentido, Adúriz e Izquierdo (2002) presentan la DC como un campo de conocimiento por derecho propio, bajo argumentos de carácter epistemológico, sociológico e histórico. Así, estos autores conciben esta disciplina científica como:

...una disciplina por el momento *autónoma* [cursivas en el original], centrada en los contenidos de las ciencias desde el punto de vista de su enseñanza y aprendizaje (esto es, una disciplina de basamento mayormente *epistemológico*), y nutrida por los hallazgos de otras disciplinas ocupadas de la cognición y el aprendizaje (la psicología y las del área de la ciencia cognitiva) (p. 136).

¹ El término *didáctica de las ciencias* proviene de una tradición de investigación continental europea procedente, principalmente, de países como Alemania, España y Francia y que, al menos en México y algunos otros países latinoamericanos, ha estado asociada con la pedagogía; una disciplina caracterizada por una visión normativa del deber ser. Por esta razón, he impulsado la denominación educación en ciencias –en la línea de science education– para visualizarla como una disciplina independiente de la pedagogía y de un carácter que enfatiza el conocimiento del ser de las cosas, de los fenómenos que requieren de recolección de datos empíricos y la búsqueda de explicaciones (véase López y Waldegg, 2002); si bien, el término didáctica de las ciencias ha empezado a reconocerse más ampliamente en el ámbito latinoamericano como un campo propio de conocimiento, independiente de la pedagogía. Razón por la cual utilizaré didáctica de las ciencias.

Existe también la conceptualización de Tamayo (2009, pp. 32-33) sobre la DC como “disciplina *emergente* y *posible* [cursivas en el original]”, basada en la visión de Toulmin de un campo de conocimiento como disciplina científica. Para él “la didáctica busca explicar, comprender y transformar las condiciones del aula, mediante el conocimiento de lo que allí sucede y de las relaciones curriculares [...] a partir de [...] la transposición didáctica” (p. 37).

Asimismo, en México han existido esfuerzos (López y Mota, 2003, 2006) por circunscribir el ámbito de conocimientos en cuestión, en los que se señala que son:

Estudios que permitan, en perspectiva, mejorar la enseñanza de las ciencias naturales –física, química, biología– y su aprendizaje en individuos –alumnos, futuros docentes–, en grupos escolares y en diversos niveles educativos, a partir de considerar los procesos cognitivos de representación de los alumnos relativos a la adquisición y desarrollo de conceptos, habilidades y actitudes de los estudiantes y a su repercusión en distintos aspectos de la educación –*currículum* como estructura y como proceso, formación y actualización de profesores, gestión escolar, tecnología educativa, evaluación del aprendizaje, diferencias étnicas y de género, entre otros aspectos–, desde perspectivas teóricas y metodológicas que se nutren de tradiciones identificadas de investigación (López y Mota, 2003, p. 363).

Las tres citas previas dan cuenta, en el contexto latinoamericano, de la circunscripción de la DC como campo de investigación por derecho propio y no subordinada a la pedagogía, aunque con lógicas conexiones entre lo educativo –territorio amplísimo de la pedagogía– y el dominio delimitado mediante dichas citas: el ámbito de lo didáctico. Y una de estas conexiones tiene que ver con el sustento, las razones y los propósitos implicados en la incorporación de contenidos de enseñanza en el currículo de las ciencias naturales en la educación obligatoria, en los sistemas educativos de las naciones. Ya que, por mucho tiempo y muy claramente en las décadas de los sesenta, setenta y parte de los ochenta, los temas de

física –por ejemplo– presentes en los libros de texto básicos de nivel universitario, eran replicados –en un nivel simplificado– en los de educación secundaria en México (López y Mota y Sanmartí, 2011).

De esta manera, se pudiera pensar que los contenidos de enseñanza seleccionados para ser abordados en la educación obligatoria debieran reflejar los intereses –por ejemplo– de los estudiosos de la física y ser reproducidos en el terreno de la educación básica. Sin embargo, lo educativo incorpora distintos aspectos que deben ser considerados: lo científico –por ser elemento de referencia de la disciplina de origen a ser enseñada–, lo cognitivo –por tener en cuenta al sujeto de referencia que va a aprender los contenidos de enseñanza seleccionados para el *currículum*–, lo antropológico –puesto que el sujeto que aprende debe ser considerado en su integralidad de ser humano– y lo sociológico –porque tiene en cuenta las condiciones socioeconómicas, políticas y culturales de los sujetos que aprenden.

Así, los contenidos de enseñanza, o como señala Tamayo en la cita ya referida, la didáctica parte del principio de la *transposición didáctica*; esto es, de la consideración de que los contenidos de enseñanza provienen de origen –en este caso– de disciplinas científicas como la biología, la física y la química, y difieren en su estatus epistémico cuando dichas disciplinas se convierten en referentes de conocimiento que inspiran aprendizajes de esas ciencias en el ámbito de lo educativo, específicamente de lo didáctico.

Es en este nivel de articulación entre lo científico-educativo-didáctico que, para seleccionar contenidos de enseñanza, se da el ejercicio de explicitar los criterios que justifican la incorporación de ciertos ‘contenidos’ de enseñanza en los *currícula* de educación básica. Por lo que en la siguiente sección daremos cuenta del *Modelo de Reconstrucción Educativa* de Reinders Duit para la DC como campo de conocimiento, ya que se plantea el ‘análisis de la estructura de los contenidos’, para ‘simplificarlos’ y luego ‘construir la estructura de los contenidos para la enseñanza’.

El Modelo de Reconstrucción Educativa

En esta sección se describe el Modelo de Reconstrucción Educativa (MRE) (Duit, 2006, 2007; Duit *et al.*, 2012) con la intención de mostrar un campo de investigación que tiene como propósito mejorar la enseñanza, mostrando dicho campo como un ámbito de generación de conocimiento con sus temas y metodologías; pero en algunos casos, sin alguna idea que le dé cohesión y sentido de propósito unificado. Así, por ejemplo, existen diversos productos académicos que muestran ‘estados de la cuestión’ o ‘estados del conocimiento’ en el ámbito de la DC en los que se da cuenta de temas de investigación dentro de esta disciplina científica, por ejemplo, el *Second International Handbook of Science Education* (Fraser, Tobin y McRobbie, 2012) que los divide en:

- *Sociocultural perspectives and urban education* (Perspectivas socioculturales y educación urbana).
- *Learning and conceptual change* (Aprendizaje y cambio conceptual).
- *Teacher education and professional development* (Formación de profesores y desarrollo profesional).
- *Equity and social justice* (Equidad y justicia social).
- *Assessment evaluation* (Evaluación del aprendizaje).
- *Curriculum and reform* (Currículum y reforma).
- *Argumentation and nature of science* (Argumentación y naturaleza de la ciencia).
- *Out-of-school learning* (Aprendizaje fuera de la escuela).
- *Learning environments* (Ambientes de aprendizaje).
- *Literacy and language* (Alfabetización científica y lenguaje).
- *Research methods* (Métodos de Investigación).

Estos 11 temas en que está dividido este ‘estado del arte’, no ofrecen una perspectiva comprensiva del campo en términos de su propósito general unificador como campo de conocimiento, ni una de búsqueda de transformación de un estado de cosas; perspectiva

que sí ofrece el ‘modelo de reconstrucción educativa’ de Duit, como se explicará más adelante.

En este intento unificador destaca el rol que juega la forma en que se constituyen los contenidos de enseñanza que tienen que ver, por una parte, con la intencionalidad del *currículum* en cuestión, por otra, con la manera en que los estudiantes construyen conocimiento (aprenden), así como con la naturaleza de la ciencia que se pretende enseñar. Es decir, la forma en que fenómenos y conceptos científicos, problemas o temas se reconceptualizan y se vuelven motivo de enseñanza con fines educativos. Además de esta reconceptualización existe el propósito de instrumentar eficaz y significativamente en la práctica esos contenidos científicos reconceptualizados, mediante propuestas didácticas. Como lo señala Duit (2006, pp. 743-744):

La enseñanza de las ciencias es la disciplina que se ocupa de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en las escuelas y fuera de ellas. La investigación en enseñanza de las ciencias comprende la *selección, la legitimación y la reconstrucción educativa de los temas que deben formar parte del aprendizaje* [el énfasis es del autor], de la selección y justificación de los objetivos principales de la enseñanza y del aprendizaje y de una secuencia de enseñanza que tome en cuenta los antecedentes cognitivos, afectivos y sociales del que aprende. Otro ámbito de la enseñanza de las ciencias es el desarrollo basado en la investigación, así como la evaluación de los enfoques y de los materiales de enseñanza y aprendizaje.

Asimismo, señala dos formas diferentes de acercarse al campo de investigación sobre la enseñanza y aprendizaje de la ciencia: aquella que se centra en los problemas que conlleva lograr el aprendizaje de contenidos científicos –y por lo tanto más cercana a la ciencia en sí misma– y otra que focaliza su atención en el sujeto que aprende, esto es el estudiante y los factores educativos que es necesario modificar para que éste aprenda. Ante lo cual destaca que solamente un equilibrio entre ellas puede permitirnos comprender el

progreso en la enseñanza y aprendizaje de la ciencia. Por lo que es justamente esta articulación entre dos polos² de desarrollo y modelización del acto didáctico –contenidos científicos y sujeto que aprende– lo que da pie, de acuerdo con Duit, a la disciplina de la *didaktik* (didáctica). De esta manera, el autor, pretende trascender la frecuente oposición entre los puntos de vista de científicos y educadores. Y lo hace independizando el campo de estudio de DC del ámbito estrictamente científico-disciplinar –de la biología, física y química– y del de las ciencias sociales –pedagogía, ciencias de la educación, psicología educativa, ciencias cognitivas–, articulando estos ámbitos bajo la idea de mejorar las prácticas relativas a la enseñanza y aprendizaje de la ciencia; otorgándole claramente a este propósito de mejora, una visión integradora al campo de investigación llamado DC.

Sin embargo, en ese propósito de articulación entre los ámbitos científico y social, Duit (2006, 2007) distingue las disciplinas de referencia –epistemología, ciencia en la forma de física, química y biología, historia de la ciencia, pedagogía, psicología y otras varias como la sociología, antropología, lingüística y ética– de la disciplina encargada de investigar sobre la enseñanza y aprendizaje de la ciencia; lo que nos permite identificar estas ciencias como una dimensión metacientífica³ de la propiamente científica denominada “didáctica de la ciencia”. Esta distinción entre lo metacientífico y lo

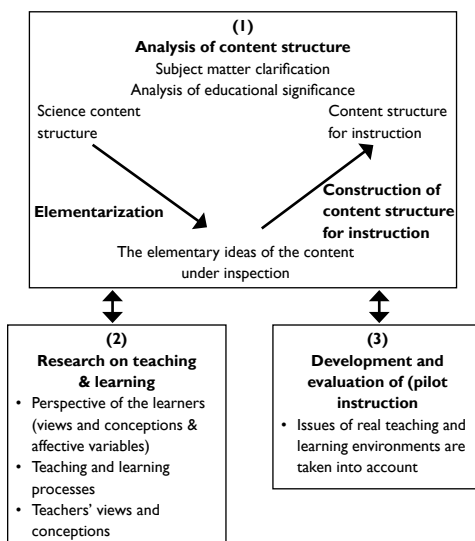
² Si bien habría que agregar un tercer término, el profesor, que permitiría constituir el triángulo didáctico de Chevallard. Pero, como se verá más adelante, dicho triángulo se transformará en un rombo.

³ Ver López y Mota y Moreno-Arcuri (2014), texto en el cual se señalan tres grandes dimensiones en la constitución del campo de la DC: *a*) la epistemológica, por la atención mostrada a la corriente semanticista de construir conocimiento, principalmente mediante la postura de R. Giere; *b*) la teórica, que se corresponde con la línea de pensamiento semanticista de los modelos y que introduce los conceptos de ‘actividad científica escolar’ y ‘modelos científicos escolares’, y *c*) la propiamente científica, que se relaciona con el concepto de Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) y permite la incorporación de la visión teórica de los modelos ya mencionada en el ámbito didáctico y con la cual es posible diseñar e implementar secuencias didácticas con fundamentos teóricos.

científico nos permitirá más adelante hacer referencia a las fuentes que hacen posible el desarrollo del planteamiento de aspectos teóricos –y luego metodológicos– dentro de la disciplina científica de la DC.

El MRE plantea tres sectores de investigación (Duit, 2006, 2007; Duit *et al.*, 2012) (véase figura 1): 1) el ‘análisis de la estructura de los contenidos’;⁴ 2) la ‘investigación sobre enseñanza, y 3) el ‘desarrollo y evaluación de la enseñanza’. Pero, en esta revisión del MRE, la atención estará centrada en el ‘análisis de la estructura de los contenidos’, que implica, según el autor: *a)* la ‘aclaramiento de la materia’ y el análisis de la relevancia educativa’; *b)* la ‘simplificación’ de tal estructura de contenidos para obtener las ‘ideas básicas sobre contenidos que están bajo inspección’, y *c)* la ‘reconstrucción de los contenidos para la enseñanza’ y lograr la ‘construcción de la estructura de los contenidos para la enseñanza’.

Figura 1. Modelo de Reconstrucción Educativa



Fuente: Duit, 2007.

⁴ En este texto, dentro del primer sector de investigación, se enfatiza la ‘clarificación y análisis del contenido científico’.

La lógica de reconstrucción educativa de Reinders Duit en el sector 1 de investigación, implica el análisis de los contenidos, su simplificación y la reconstrucción de los contenidos en términos de una propuesta didáctica; si bien para otros, como Óscar Tamayo –ya mencionado– consistiría en un proceso de ‘transposición didáctica’. De esta manera, en el caso de este capítulo y del libro en su conjunto, se trata de tomar como objeto de análisis para su incorporación como contenido de enseñanza no un tema o un concepto científico, sino un fenómeno natural de interés educativo para el campo de la DC; particularmente en el caso de la biología y ciencias afines, como la medicina o la nutrición (véase capítulos 4 y 5).

El punto de vista asumido aquí es que ese potencial contenido de enseñanza, la obesidad humana, es un problema de salud mundial, que para la Organización Mundial de la Salud, OMS (2016) es particularmente agudo en México. Con ello, se asume que la *obesidad humana* es un asunto eminentemente biológico –si bien multifacético–, enmarcado en un contexto que lo convierte en asunto de interés social. Algunos autores llaman a esto un asunto o problema sociocientífico⁵ (Sadler, 2011) incorporado a la esfera educativa para ser tratado didácticamente dentro del ciclo de educación básica, como se argumentará enseguida.

Contenidos de enseñanza o saberes a ser aprendidos

De acuerdo con el MRE ya descrito, habría que analizar la obesidad humana, simplificarla y reconstruirla en su estructura como

⁵ En términos de Sadler, existen dos visiones respecto de concebir la ‘alfabetización científica’. La visión 1 es aquella que mira hacia los cánones ortodoxos de la ciencia natural y que pretende que se muestre una rigurosa comprensión de ellos. La visión 2 se centra en situaciones de la vida cotidiana ciudadana con un componente científico, y busca que se exhiba una rigurosa comprensión acerca de situaciones relacionadas con la ciencia (i. e. el cambio climático). Nuestra posición sería intermedia entre estas dos.

contenido de enseñanza. En este sentido, no se trataría de una simplificación conceptual-disciplinar del contenido de enseñanza, pues en este caso se trata de un fenómeno natural de dimensiones etiológicas varias y no de carácter conceptual en primera instancia; si bien no hay duda de que en la argumentación explicativa que del fenómeno elaboran los sujetos que construyen conocimiento, la obesidad humana requiere de conceptos e implica un abordaje didáctico correspondiente con ello. Pero, por el abordaje de este fenómeno sustentado en una posición teórica de modelos y modelización, la ‘simplificación’ del abordaje se centra primeramente en la visualización del modelo explicativo a ser alcanzado por los sujetos sobre el fenómeno, de acuerdo con consideraciones prioritariamente relacionadas con la población-estudiantil-objetivo a la que va destinada la propuesta didáctica.

El fenómeno de la obesidad humana es natural, en cuanto que si un organismo humano ingiere alimentos –descontadas las incidencias que se relacionan con factores metabólicos, genéticos, culturales o económicos–, sufrirá sobrepeso u obesidad si la ingesta de alimentos rica en valor calórico no es compensada con un gasto energético equivalente y, por lo tanto, acumulará grasa, preferentemente en el tejido abdominal. Así, según el Instituto Nacional de Salud Pública, INSP (2012), la obesidad humana es un fenómeno natural que afecta a una buena proporción de la población mexicana, tanto infantil y juvenil, como adulta; convirtiéndose en un problema de salud pública que la escuela –mediante el *currículum*– debiera incorporar a las aulas para su tratamiento con fines educativos –previsiblemente cognitivos y preventivos/disuasivos.⁶

Por lo tanto, es de interés educativo incorporar la obesidad humana en la perspectiva científica de *describir, explicar y predecir* tal fenómeno. Esto con el propósito de que, con el conocimiento

⁶ Estos fines pudiesen ser controversiales para aquellos que quisieran que la educación –más bien los sistemas educativos– fueran responsables directos de la disminución de este problema; lo cual implicaría, probablemente, la provisión escolar universal de algún tipo de alimentación.

construido escolarmente, los estudiantes posean elementos racionales en la toma de decisiones pertinentes para que –en lo posible– no se presente en ellos y en su entorno social cercano. Con lo cual el conocimiento logrado puede contribuir a la prevención/disuasión de la obesidad, al contar el estudiante con elementos cognitivos que proporcionan comprensión y no meramente información memorizada; además de ayudar a visualizar el comportamiento humano como un conjunto compuesto de varios sistemas que, para la explicación de la obesidad humana, requiere del tratamiento articulado de varios sistemas –digestivo, circulatorio, pulmonar, excretor y músculoesquelético–, en comparación con una visualización desarticulada como la presente en algún programa de estudio (Secretaría de Educación Pública [SEP], 2011b).

De esta manera, en el capítulo 4 se presentará el argumento –en mayor profundidad– de cómo y con qué sustento el fenómeno de la obesidad humana puede convertirse en un asunto de interés en el ámbito educativo.

Si asumimos como un hecho que un fenómeno como el de la obesidad humana puede incorporarse como contenido de ciencias naturales en un currículo, faltaría especificar en éste su forma de abordaje didáctico; con lo cual –en nuestra propuesta– habría que hacerlo bajo la perspectiva de modelos/modelización, la cual será precisada en lo que resta del presente capítulo y ampliada en su tratamiento en el capítulo 6 –tratamiento teórico-metodológico de una secuencia didáctica– y en el capítulo 7 –reporte de resultados después de aplicada una secuencia didáctica.

Procesos de enseñanza y aprendizaje

El MRE concibe, como ámbito de investigación 3, la ‘investigación sobre enseñanza y aprendizaje’ e incluye indagación sobre ‘concepciones de los estudiantes’ y los propios ‘procesos de enseñanza y aprendizaje’. Es aquí donde cabe la realización de investigación

sobre el diseño y validación de secuencias didácticas (SD), lo cual implica el planteamiento de enseñanza y logros en la construcción de conocimiento científico escolar (aprendizaje) en una concepción basada en modelos/modelización; orientación que será abordada más adelante en este texto.

SECUENCIAS DIDÁCTICAS (DISEÑO Y VALIDACIÓN)⁷

Orientaciones

Es en este ámbito de investigación donde cobra relevancia el planteamiento del MRE con respecto a la planeación didáctica, pues en primer lugar hay que plantearse el problema de los contenidos a enseñar y, después, la manera de abordar tales contenidos en la forma de una SD. Así, la *secuencia didáctica* consiste, de acuerdo con Couso (2011), en la planificación del enseñar y aprender –que más adelante en el texto se planteará como el diseño de la enseñanza en función de la *construcción de conocimiento científico escolar*–,⁸ que incluye respuesta a cuestiones como: qué contenidos concretos abordar, en qué contexto, con qué propósito, en qué orden, en qué forma y cómo evaluarlos en su apropiación.

⁷ En este capítulo se adopta la denominación secuencia didáctica (SD), si bien, como indica Couso (2011), también se le llama ‘unidad didáctica’ o ‘secuencia de enseñanza y aprendizaje’. Esta adopción se debe a la incorporación en el enseñar y aprender de un ‘contenido disciplinario’ específico –en el caso que nos ocupa se trata de un fenómeno sociocientífico como el de la obesidad humana– en el terreno concreto de la didáctica de las ciencias; el cual incorpora el enseñar y aprender en su planteamiento, pero que substituye la noción de aprendizaje por el de construcción de conocimiento en un dominio científico-disciplinario particular.

⁸ Es más pertinente, desde nuestro punto de vista, abordar la enseñanza de una perspectiva de construcción de conocimiento y no desde un punto de vista del aprendizaje; ya que la construcción de conocimiento es específica de dominios y el concepto de aprendizaje es independiente de los mismos, al ser un concepto psicológico y no de carácter didáctico.

La misma Couso (2011), Psillos y Kariotoglou (2016) y antes Meheut y Psillos (2004)⁹ consideran las *secuencias didácticas*, al mismo tiempo, como productos didácticos de innovación y objetos de investigación; es decir, como elementos de investigación y desarrollo (I + D) que están orientados a transformar los llamados procesos de enseñanza y aprendizaje (Duit, 2006, 2007; Juuti y Lavonen, 2006; Linjse, 2010b; Duit *et al.*, 2012).

Virii y Savinainen (2008) señalan que, desde que las *teaching and learning sequences* (TLSS)¹⁰ se han centrado en desarrollar propuestas basadas en contenido científico único o específico –en lugar de propuestas curriculares extensas que cubran diversidad de tópicos–, la generación de conocimiento es necesaria con respecto al diseño de tales propuestas. En esta perspectiva del diseño de SD, el autor realiza una comparación entre dos perspectivas diferentes:¹¹ una fundamentada en la noción de *demanda de aprendizaje o cognitiva*¹² –corriente inglesa– y otra, en la idea de *reconstrucción educativa*¹³ –corriente alemana– ya mencionada en el MRE de Duit.

Por otra parte, Couso (2011) revisa estos dos marcos para elaborar SD –de la ‘reconstrucción educativa’ y de la ‘demanda de aprendizaje’– y añade, con respecto a Virii, la denominada *hipótesis de aprendizaje* –para el caso específico de modelización–.¹⁴ Psillos y Kariotoglou (2016) realizan una revisión muy similar a la mencionada de Couso, pero ‘desdoblando’ las corrientes nórdicas –grupos de Utrecht y Goteborg– y francesa –ingeniería didáctica y grupo de Lyon.

⁹ M. Méheut y D. Psillos actúan como editores invitados de la revista *International Journal of Science Education* del volumen 26(5) titulado Teaching-learning sequences: aims and tools for science.

¹⁰ En español: Secuencias de enseñanza y aprendizaje.

¹¹ Una, la primera, más centrada en una perspectiva socioconstructivista del aprendizaje y otra focalizada en aspectos cognitivocientíficos.

¹² Learning demand, en inglés.

¹³ [Model of] educational reconstruction, en inglés.

¹⁴ Se refiere a la modelización del acto didáctico, en el cual intervienen el profesor, los alumnos y los saberes científicos motivo de enseñanza y de aprendizaje.

La postulación de la ‘hipótesis de aprendizaje’ proviene de la tradición francesa de la ingeniería didáctica, sustentada en los trabajos de Artigue sobre ésta (Artigue, 1992: en Couso, 2011). Artigue (1995) concibe la ingeniería didáctica no sólo como una forma de diseñar y validar secuencias didácticas, sino como toda una metodología de investigación; ya que en realidad propone una forma de modelización del acto didáctico en el que intervienen los saberes científicos, la forma de pensar del estudiante y el rol del profesor. La fundamentación teórica de la ingeniería didáctica se sostiene en la teoría de las *situaciones didácticas* de Brousseau (1998) y la teoría de la *trasposición didáctica* de Chevallard (1985), lo que permite una visión sistémica al considerar el acto didáctico como el estudio de las interacciones entre un saber y un sistema educativo en la persona del profesor y los alumnos, con el fin de optimizar la apropiación de saberes por los sujetos (Artigue, 1995, 2002).

La fase de concepción,¹⁵ dentro de la ingeniería didáctica, se basa no solamente en un encuadre teórico de la didáctica general y del conocimiento didáctico adquirido en el campo de estudio, sino en varios tipos de análisis preliminares: epistemológico de los contenidos; de la enseñanza tradicional y sus efectos; de las concepciones de los estudiantes –dificultades y obstáculos para su transformación–; del campo de restricciones donde se llevará al cabo la acción didáctica, y de los objetivos específicos de investigación (Artigue, 1995). Ante este planteamiento de la ingeniería didáctica, habría que destacar las dimensiones mencionadas –epistemológicas y cognitiva– en el diseño y validación de SD, ya que se busca poner en claro el significado del saber científico como asunto a ser enseñado –visto desde la disciplina científica en cuestión– y la consideración de ese saber en función de las concepciones o manera de pensar del *estudiante*. Por su parte, el significado del saber científico ya ha sido enfatizado al mencionar la ‘elementarización’ de R. Duit en su planteamiento de la reconstrucción educativa; siendo un asunto de

¹⁵ Corresponde a la etapa inicial.

particular importancia en este capítulo, dado su planteamiento de introducir la *obesidad humana* como problema sociocientífico en los *curricula* de niños y jóvenes y abordarse didácticamente como ‘contenido de enseñanza’ en las aulas.

Tales análisis son realizados en tres dimensiones: *a*) epistemológica, asociada a las características del saber en juego; *b*) cognitiva, relacionada con las características cognitivas de los sujetos a quienes se dirige la enseñanza, y *c*) didáctica, ligada a las características del funcionamiento del sistema de enseñanza (Artigue, 1995).

Es necesario destacar, aunque se abordará más adelante en este capítulo y en el capítulo 6, el asunto de la validación de SD, que concuerda con el planteamiento de la ingeniería didáctica. Ya que en ésta se especifica que la validación no se realiza con apego a los criterios externos de *pretest* y *postest*, sino que la validación es interna a la o las hipótesis realizadas *a priori* y los resultados *a posteriori* de la intervención didáctica (Artigue, 1995, 2002).

Méheut y Psillos (2004) ofrecen un análisis de tres tradiciones –*investigación del desarrollo*,¹⁶ ‘reconstrucción educativa’ e ‘ingeniería didáctica’– de diseño y validación de secuencias didácticas. En ese número,¹⁷ los autores proporcionan –en el artículo de presentación– una revisión general de desarrollos y tendencias de las SD, así como su validación en la práctica; discutiendo estudios de carácter empírico, propuestas teóricas, herramientas metodológicas y acercamiento al diseño de las secuencias. Tal análisis lo realizan a partir del llamado *rombo didáctico*; el cual proviene del ya famoso triángulo didáctico –contenidos, profesor, alumnos–,¹⁸ en el que al ‘desdoblar’ el vértice de ‘contenidos’ resulta en ‘conocimiento

¹⁶ Developmental Research, en inglés; relacionado con la visión de realizar investigación denominada research-based [in science education], la cual contiene una dosis de pragmatismo al buscar establecer un puente entre la investigación en science education y la praxis de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (cfr. Juuti y Lavonen, 2006).

¹⁷ Teaching-learning sequences: aims and tools for science (véase nota 9).

¹⁸ Cfr. Izquierdo (2007), quien lo denomina: ‘sistema didáctico’ e incluye: ‘conocimiento’, ‘profesores’ y ‘estudiantes’.

científico' y 'mundo real'; dando lugar a la 'dimensión epistemológica' y a la 'dimensión pedagógica' (cfr. Méheut y Psillos, 2004: 517). Este rombo es utilizado para mostrar ciertas tendencias de investigación en DC, al usar una clasificación desarrollada *a posteriori* y fijar su atención en dos aspectos de SD: el *diseño* –'constructivismo psicológico', 'constructivismo epistémico' y 'constructivismo integrado'– y su *validación* –'procedimientos *pretest/postest*' y 'estudios de trayectorias de aprendizaje.'

En lo que respecta a la 'investigación del desarrollo' –corriente continental europea nórdica– enarbolada por Linjse (2010a), encuentra que los esfuerzos curriculares¹⁹ no han resultado en un progreso real, en lo que toca al aprendizaje profundo de la ciencia; con lo que deja ver una visión pragmática de la DC, centrada en la resolución de problemas. Y afirma que, por más insertada que esté la DC en la teoría cognitiva, así como en modernas epistemologías, sus resultados sólo expresan más estrategias generales y teorías. Por lo que se necesita empezar a trabajar, dice, con un marco de referencia más específico con relación al contenido –presentación de 'escenarios'²⁰ como detalladas descripciones de posibles 'estructuras didácticas'– y lograr comprender y mejorar la práctica docente de las ciencias. En este mismo sentido pragmático –al buscar reducir la brecha entre teoría y práctica–, Juuti y Lavonen (2006) señalan que la construcción de investigación basada en secuencias de enseñanza, así como la 'investigación del desarrollo' de Linjse, la investigación en la 'reconstrucción educativa' de Duit *et al.* (2012) y la 'investigación didáctica' de Artigue, son similares a la suya –investigación basada en el diseño.²¹

¹⁹ Linjse publica este artículo en 2010 en una edición escasamente modificada del original publicado en 1995, debido a la celebración de un simposio en su honor, por su retiro como profesor de Didáctica de la Física de la Universidad de Utrecht.

²⁰ Scenario, en inglés: un escenario describe y justifica, en considerable detalle, tareas de aprendizaje y sus interrelaciones, así como las acciones que estudiantes y profesor se supone y espera desempeñen (cfr. Linjse, 2010b, p. 99).

²¹ Design-based research [in Science Education].

En lo que toca a la ‘ingeniería didáctica’ –proveniente de la tradición francesa de la didáctica de las matemáticas, pero con influjo en la DC–, existe un artículo de Buty, Tiberghien y Le Maréchal (2004) en el que se enfatiza el asunto de las ‘hipótesis de aprendizaje’, pero en el que en realidad se revisan tres tipos de hipótesis en el diseño de SD: de conocimiento, de aprendizaje y de carácter didáctico; y se ejemplifica con dos estudios, uno en el ámbito de la física (óptica) y otro en el de la química (conductividad).

La *hipótesis de conocimiento* implica el proceso de diseñar el conocimiento involucrado en la SD y corresponde a la denominada transposición didáctica, complementándose con la ‘hipótesis de modelización’ –basada en la distinción y relaciones entre la descripción directa de los objetos del mundo real y las teorías y modelos– y la ‘hipótesis de registros semióticos’ –relacionada con las posibles dificultades encaradas por los estudiantes al transitar por diferentes registros semióticos y su relación con el lenguaje natural.

La *hipótesis de aprendizaje*, sustentada en un planteamiento socio-constructivista, reconoce el rol del conocimiento previo de los estudiantes –escolar y espontáneo– y permite establecer la ‘distancia’ que el estudiante debe cubrir entre el conocimiento inicial de éste y el conocimiento a ser enseñado; formulando la hipótesis de si tal ‘distancia’ puede ser cubierta utilizando el concepto de ‘zona de desarrollo próxima’ de Vygotsky y apoyándose también en la idea de ‘nociones fundadoras’ de Küçüközer (Küçüközer, 2001, en Buty *et al.*, 2004) –que radica en la evolución de las concepciones de los estudiantes–. Asimismo, con apego a su planteamiento socioconstructivista y del uso del lenguaje, utiliza complementariamente la ‘hipótesis sobre el rol de la mediación’, la cual involucra las interacciones verbales entre el docente y los estudiantes; planteando hipótesis acerca del mejor uso del lenguaje para el desarrollo de conocimiento con significado y del metaconocimiento.

La *hipótesis didáctica* tiene que ver con las condiciones del sistema educativo en cuestión e involucra los tiempos de clase; asimismo, afecta la secuencialización de la enseñanza y el aprendizaje, así

como el logro de los fines didácticos para los cuales fueron diseñadas distintas actividades en el aula; para lo cual utilizan los conceptos de ‘contrato didáctico’ y de proceso de ‘institucionalización’.

Por último, Buty *et al.* (2004) señalan que las posibilidades de validación son diversas e implican una variedad de hipótesis,²² las cuales tienen que ver con la factibilidad de que los estudiantes puedan realizar las tareas diseñadas con un propósito particular: si los estudiantes construyen una apropiada comprensión de los conceptos científicos involucrados²³ en la SD y si los estudiantes pueden aprobar exámenes externos.

En resumen, el citado texto de Buty *et al.* describe distintas ‘hipótesis de aprendizaje’ involucradas en el diseño y validación de SD, pero también inicia éstas –de manera semejante con el ‘modelo de reconstrucción educativa’ de Duit– con un análisis epistemológico. Es decir, de ‘transposición didáctica’ de los ‘saberes’ a ser enseñados, para luego hacer una comparación con los ‘conocimientos previos’ de los estudiantes y poder diseñar la SD en cuestión; incorporando al acto didáctico la intervención del docente y el medio en el que se desarrolla la SD. Y finaliza haciendo énfasis en la consideración de que la validación de SD implica validaciones internas y externas, y rechazando el uso de pruebas *pretest* y *postest* como medios de validación.

La perspectiva de diseño de SD basada en ‘demanda de aprendizaje’ (Leach y Scott, 2002; Virii y Savinainen, 2008) especifica las diferencias entre modos de pensamiento cotidiano y científico, las cuales son utilizadas para identificar –en un nivel de ‘grano fino’– los desafíos involucrados en un dominio específico de la ciencia. En esta perspectiva, el diseño de SD empieza con un análisis del contenido científico a ser enseñado, para enseguida realizar el

²² Pero diferentes a los procedimientos tradicionales de *pretest* y *postest*.

²³ Lo cual podría dar la impresión de que el uso del término ‘modelización’ que utilizan en el artículo, está más relacionado con el acto didáctico –saber, estudiantes, profesor– que con la modelización de un fenómeno científico en particular y fuente de construcción de conocimiento científico escolar.

análisis de las demandas de aprendizaje; lo cual implica establecer las diferencias entre los modos cotidiano y científico de pensar y hablar sobre ciencia. En cambio, el diseño de SD bajo la ‘reconstrucción educativa’ se centra en la reconstrucción del conocimiento científico, con la perspectiva de ayudar a los estudiantes a entender los asuntos clave de un tópico específico; siendo el objetivo general identificar las conexiones entre conocimiento científico y los marcos alternativos o ideas previas utilizados por los estudiantes de manera espontánea en la vida cotidiana.

Es claro que en ambas perspectivas de diseño de SD –‘demandas de aprendizaje’ y ‘reconstrucción educativa’– se requiere de un análisis del contenido que tendrá que implementarse en la práctica. También es evidente que una y otra tienen en cuenta la forma de pensar de los estudiantes, para que, al comparar el pensamiento espontáneo con el científico, puedan derivarse consecuencias para el diseño; en un caso centrándose en los desafíos de aprendizaje, y en el otro, en la ‘elementarización’ del contenido científico de enseñanza.

Así, en el contexto de este capítulo y del libro en su conjunto, para la incorporación –como contenido de enseñanza– del fenómeno de la obesidad humana como tópico de una secuencia didáctica, es necesario realizar el análisis pertinente para iniciar el proceso de diseño didáctico. En primer lugar, está la consideración más general de filosofía educativa acerca de la incorporación de un fenómeno sociocientífico, como la obesidad humana, en un encuadre educativo, pedagógico y didáctico (véase capítulo 4). Enseguida está el análisis, a nivel de secuencia didáctica, de la comparación entre el pensamiento espontáneo de los estudiantes y el pensamiento científico, con relación a dicho tópico. Para este análisis es indispensable considerar el planteamiento científico referido al fenómeno de la obesidad humana (véase capítulo 5), el cual se hace en término de modelos; posición que será descrita más adelante en este mismo capítulo. Y con el fin de mostrar la comparación entre el pensamiento espontáneo de los estudiantes –en este libro se adopta la perspectiva de modelos– y el

pensamiento científico –también expresado en término de modelos– y derivar criterios de diseño de SD, se describe un ejercicio práctico en el capítulo 6, reservándose la descripción de los resultados de implementar una SD bajo tal procedimiento para el capítulo 7.

Dimensiones

En la sección previa, que aborda el campo de investigación y desarrollo de SD, se da cuenta de diversas maneras de plantear el diseño y validación de SD. Y en ella se plantean desafíos que deberán ser contestados: ¿Por qué y cómo incorporar ‘saberes’ o ‘contenidos’ científicos en el ámbito didáctico? ¿Cómo reducir la ‘distancia’ entre el pensamiento espontáneo de los estudiantes y los ‘saberes’ o ‘contenidos’ de enseñanza? ¿Cómo estructurar y desarrollar SD? ¿Cómo validar dichas secuencias? Sin embargo, en estos desafíos interesan tres grandes dimensiones conceptuales y analíticas: *a) metateórica, b) teórico-científica y c) teórico-metodológica*. Así, la tarea de construcción de SD puede verse segmentada en las tres grandes dimensiones mencionadas, las cuales debieran de ser motivo de identificación, análisis e implementación, para quienes se dedican a esta tarea.

La dimensión *metateórica* parte de identificar y ubicar en el terreno de la epistemología, la psicología o las ciencias cognitivas, la lingüística, o cualquiera otra disciplina diferente a la DC, aquellos ámbitos disciplinarios que permitan visualizar una implicación para el diseño y validación de SD. Ello, por su impacto en una forma de concebir la ciencia, visualizar en qué consiste el aprendizaje o bien la cognición, así como incorporar el lenguaje o cualquier otro concepto que sirva heurísticamente al asunto en cuestión. Lo cual ha quedado claro en el tratamiento de la sección anterior.

La posición *metateórica* adoptada por cualquier investigador permite dar forma –por ejemplo– al modo de instrumentar una SD

mediante la introducción de modelos/modelización proveniente de una corriente semanticista de un epistemólogo como Ronald Giere; a la aplicación de una visión socioconstructivista basada en la perspectiva de aprendizaje de Lev Vygotsky; o a las aportaciones provenientes de la inteligencia artificial, particularmente, el concepto de modelo mental mecánico, de De Kleer y Brown.

En este capítulo se ha hecho o se hará referencia a planteamientos metacientíficos que tienen implicaciones para la DC: Vygotsky para el concepto de ‘demanda de aprendizaje’; Giere para la introducción de modelos/modelización; De Kleer y Brown para el diseño de secuencias didácticas bajo la idea de ‘modelo mental mecánico’, o Lemke para el abordaje de asuntos que involucran el uso del lenguaje e incorporan una perspectiva cultural.

Sin embargo, para avanzar en el diseño y validación de SD en cualquiera de las perspectivas mencionadas, todas requieren de la derivación de conceptos que puedan convertirse en desarrollos teóricos dentro del campo de la DC. De esta manera, se ha procedido con la propuesta epistemológica semanticista de R. Giere, que ha derivado en el concepto de ‘modelo científico escolar’.

La dimensión *teórico-científica* dentro de la DC, es posible –en nuestro caso– mediante el uso de las ideas sobre modelos/modelización provenientes de la corriente semanticista dentro de la epistemología de Giere, pero que requieren del desarrollo de conceptos dentro del terreno propio del campo de investigación que nos concierne, el de la DC. Para ello, se han pensado ya conceptos tales como ‘actividad científica escolar’ y ‘modelos científicos escolares’, entre otros, los cuales serán abordados más adelante en este texto.

La dimensión *teórico-metodológica* hace factible que los conceptos teóricos desarrollados puedan anclarse en terrenos propios de la didáctica; en este caso, en el del diseño, desarrollo y validación de SD. Para esta dimensión también existen planteamientos como el de Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA), el cual articula los conceptos de ‘modelos científicos escolares’ y de ‘actividad científica escolar’ del ámbito teórico de la DC, con el metodológico,

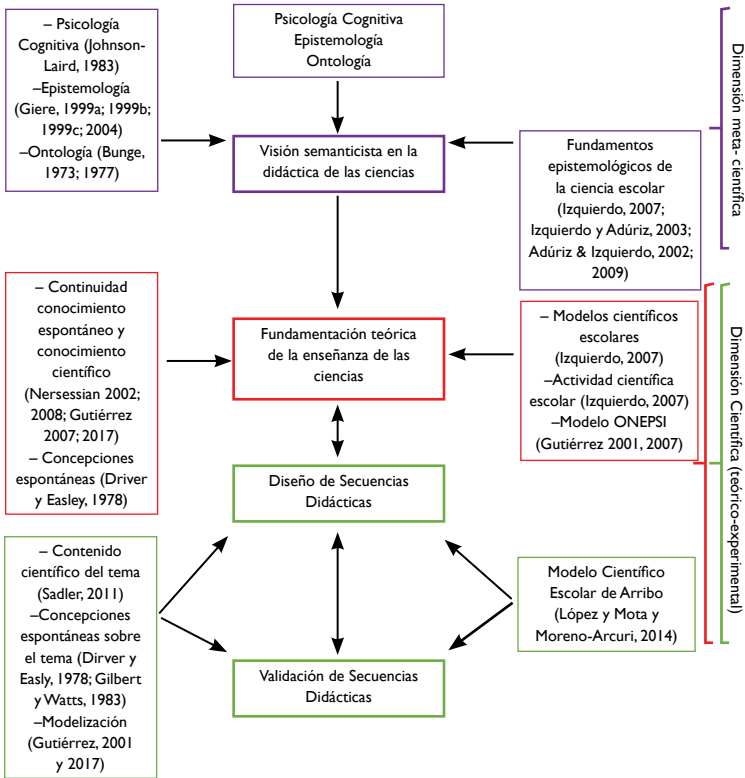
mediante la utilización de una definición de modelo que da cobertura pertinente tanto en el ámbito científico-disciplinar como en el cognitivo, lo que se mostrará más adelante. El MCEA es un concepto que permite diseñar SD bajo la perspectiva del modelo que se quiere alcanzar en clase mediante una SD, e introduce un elemento de validación poniendo a prueba una hipótesis directriz, como lo es justamente el MCEA.

El propósito de describir estas dimensiones no implica aportar evidencia exhaustiva para sustentar la existencia de estas tres demarcaciones en el trabajo de diseño y evaluación de secuencias didácticas sobre la base de un modelo a alcanzar. Ya aquí se han ofrecido varias aproximaciones y, en todas, de una manera u otra, se consideran las dimensiones mencionadas.

La intención de tal descripción consiste en proporcionar claridad en el trabajo de investigación para el diseño y validación de SD bajo la perspectiva de modelos/modelización e instrumentada –en la forma de MCEA– para el caso presente del fenómeno de la obesidad humana; el cual es abordado en este libro. Ya que el presente capítulo expone, más adelante, los fundamentos *metateóricos* y los aspectos *teórico-metodológicos* para el diseño y validación de SD, utilizados para abordar el fenómeno de la obesidad humana. La aplicación metodológica se reporta en el capítulo 6 y los resultados de su instrumentación en el aula, en el capítulo 7. Los capítulos 2 y 3 plantean, respectivamente y en una versión mucho más extendida que lo que se hace en el presente capítulo, asuntos *metateóricos* originados en la epistemología y en las ciencias cognitivas. Asimismo, en los capítulos 4 y 5 se abordan asuntos propios de la DC en el diseño y validación de secuencias didácticas, bajo la perspectiva de modelos/modelización: primeramente se plantea la cuestión de cómo incorporar como ‘contenido de enseñanza’ o ‘saber’ la explicación de un fenómeno como el de la obesidad humana para, en segundo lugar, mostrar el modelo científico que explica tal fenómeno y con ello poder construir el MCEA que habrá de pautar el diseño de SD, como más adelante habrá de explicarse.

Se representan estas tres dimensiones, o niveles en el diseño y validación de secuencias didácticas, mediante un gráfico (véase figura 2), el cual permite identificarlos y ubicar textos que los abordan para el caso particular del MCEA (véase López y Mota y Moreno-Arcuri, 2014).

Figura 2. Dimensiones a considerar en el diseño y validación de secuencias didácticas para el caso de modelos/modelización



Nuestro encuadre metateórico

La posición metateórica, proveniente del ámbito de la epistemología y adoptada en este capítulo, tiene que ver con la aplicación

de la perspectiva de modelos/modelización en el diseño de SD, procedente de la corriente semanticista impulsada por Ronald Giere. Tal perspectiva ya ha sido delineada de manera inicial en López y Mota y Rodríguez-Pineda (2013), y posteriormente refinada y utilizada de manera específica para el caso del abordaje del fenómeno de la fermentación (Moreno-Arcuri y López y Mota, 2013; López y Mota y Moreno-Arcuri, 2014), de las disoluciones (López y Mota *et al.*, 2015) y de los fenómenos electrostáticos (Pareda García y López y Mota, 2016).

El conocimiento en español del trabajo de Giere se debió al interés mostrado en sus trabajos por colegas de la Universidad Autónoma de Barcelona, que fructificaron en la publicación en ese idioma de dos trabajos suyos (Giere, 1999a, 1999b).

La lectura adicional de otros textos de Giere en su propio idioma (Giere, 1999c, 2004) permitió visualizar la bondad de su planteamiento de hacer ciencia para llevarla al ámbito educativo y adoptarlo como referente para el campo de la DC; como se hace patente en López y Mota y Moreno-Arcuri (2014, p. 112) en donde se afirma que:

El referente teórico para el diseño y validación de secuencias didácticas son los modelos científicos, los cuales *son pensados desde el ámbito epistemológico* [el énfasis es del autor] como representaciones mediadoras entre las teorías y los fenómenos del mundo, los cuales son retomados como esenciales en el desarrollo de la actividad científica escolar –por medio de procesos de modelización– y tienen un papel primordial en el desarrollo curricular –en particular en el diseño y validación de secuencias didácticas.

A continuación, sólo se mencionarán los aspectos más relevantes del posicionamiento epistemológico de Giere ya que, como se ha señalado previamente, el trabajo de delinear tal posicionamiento ha sido realizado con anterioridad y puede consultarse en López y Mota y Moreno-Arcuri (2014). Además de que el propósito principal de esta sección consiste en mostrar que el uso de los modelos/

modelización en la construcción científica es un asunto de carácter epistemológico que sirve de ‘inspiración’ al campo didáctico.

R. N. Giere argumenta en favor de la naturaleza –teórica, diferente de las teorías y las leyes– y funciones –sobre todo de representación– de los modelos en la actividad científica. Esto no quiere decir que no existan otras posibilidades epistemológicas que puedan inspirar la enseñanza de la ciencia y sean consideradas en el ámbito didáctico. Existen ejemplos obvios del empirismo y el positivismo –sobre los cuales se inspiró la enseñanza de la ciencia por indagación–. Pero también puede contarse el trabajo de Knuuttilla (2011) –aun dentro de la corriente semanticista–, que reconoce la función de la representación, pero acentúa la función de ‘intervención’ de los modelos científicos –que permite considerarlos como *herramientas epistémicas*– y no solamente el de la ‘representación’, como lo hace Giere. Pero es el trabajo de este último autor el que se ha utilizado para inicialmente construir la perspectiva didáctica ofrecida en este capítulo con respecto al MCEA ya mencionado (véase en siguientes secciones de este capítulo). Sin embargo, en este mismo libro pueden observarse potenciales posicionamientos epistemológicos o cognitivos alternativos o complementarios a ser adoptados en el terreno didáctico (véase capítulos 2 y 3).

El planteamiento de Giere parte del papel otorgado al lenguaje en la actividad científica como recurso para referirse a la realidad y, con ello, discute las funciones sintácticas y semánticas del mismo. Él se decanta por la función semántica –de ahí que se le incluya en la *corriente semanticista*–, la cual estudia la naturaleza y el papel de la relación entre la representación y la realidad representada; dirigiendo por lo tanto la atención sobre los referentes empíricos de lo que se busca representar y la verdad o falsedad de la hipótesis teórica en relación con éstos.

Al rescatar el papel del lenguaje en el discurso científico, el autor lo hace a partir del reconocimiento pragmático que otorga al logro cultural de la construcción de lenguajes y a la identidad que concede a los miembros de una comunidad específica como la

científica; la cual utiliza el lenguaje fundamentalmente para comprender (*función semántica*) y también para ‘formalizar’ (*función sintáctica*) los planteamientos teóricos. Por ello, afirma que el papel del lenguaje científico para representar la realidad es esencialmente pragmático; es decir, para comprender y no para hacer un estudio *per se* del lenguaje. De aquí la importancia otorgada a todos los medios utilizados para representar y ofrecer comprensión sobre la realidad –esquemas, dibujos, imágenes, tablas, etcétera– y no sólo a los medios de formalización como las matemáticas.

Ahora bien, para el autor la función de representar en ciencia se ajusta mejor a las prácticas científicas cuando ésta es realizada bajo el entendimiento de que las teorías son concebidas esencialmente como modelos de la realidad a representar y no como dispositivos teóricos que proveen de medios para interpretar sistemas formales. En las prácticas científicas, los modelos se generan mediante el uso de principios y el establecimiento de condiciones específicas. En la aplicación de los modelos a rasgos de una porción del mundo real, se producen hipótesis que pueden ser generalizadas a una clase designada de objetos.

En este sentido, los principios utilizados en ciencia son interpretados de manera diferenciada por científicos y epistemólogos, ya que algunos –positivistas y empiristas– han considerado las leyes científicas como generales y verdaderas; es decir, como de aplicación universal y que corresponden punto a punto con el mundo real al cual representan. Pero otros, como Giere, piensan que la relación entre éste y su representación –modelo– es de similitud; considerando las leyes como parte de la caracterización de un modelo y por lo tanto verdaderas para tal modelo.

Así, Giere señala que los modelos de las ciencias más avanzadas deben ser objetos abstractos construidos en conformidad con principios generales apropiados y condiciones específicas. De tal manera que los elementos del modelo puedan ser identificados con rasgos o características del mundo real y con ello los modelos puedan ser utilizados para representar distintos aspectos del mismo.

De este modo, los modelos sirven de herramientas representacionales del mundo natural.

Son precisamente la naturaleza representacional de los modelos y su uso descriptivo, explicativo y predictivo factores sobresalientes que atraen la mirada para su consideración educativa. Y son justamente dos los aspectos que terminan por influir en la utilización de los modelos en el ámbito didáctico: el atractivo de los estudios sobre las concepciones espontáneas de fenómenos y conceptos científicos –tan populares en la literatura especializada de los años ochenta y noventa– y su relación con la naturaleza representacional de los modelos, además de la inclinación por comprender los planteamientos científicos y no únicamente memorizarlos. Es por esto que en la próxima sección se destacará la articulación del ámbito epistemológico con el de la teoría didáctica.

Nuestro encuadre teórico

Las bases teóricas que aquí se abordarán forman parte del cuerpo teórico de la DC y no ya del ámbito epistemológico. Sin embargo, ello es posible al aceptar ciertos supuestos provenientes de la epistemología y reinterpretarlos en el terreno educativo, específicamente el didáctico.

Así, se repasarán brevemente los principales conceptos teóricos que inciden en la incorporación de una perspectiva de modelos y modelización en el ámbito didáctico; ya que ello ha sido ya tratado con cierto detalle en López y Mota y Moreno-Arcuri (2014) en lo relativo a ‘actividad científica escolar’ y ‘modelos científicos escolares’, pero no con respecto a ‘ideas espontáneas’ y ‘continuidad entre pensamiento espontáneo y científico.

Actividad científica escolar y modelos científicos escolares

Una vez identificada y comprendida la fuente de ‘inspiración’ para incorporar planteamientos generados en una disciplina –en este caso el de modelo científico generado en el ámbito de la epistemología– y ser utilizados como metáfora de la actividad científica –construcción de modelos para explicar fenómenos– en el terreno educativo –particularmente didáctico–, se requiere concebir de qué manera será posible anclar esta forma de pensar en términos de modelos sobre la realidad natural; lo que incluye fenómenos, conceptos y perspectivas del terreno original en el campo de destino.

Como puede apreciarse, no se trata de incorporar, *per se*, conceptos –inscritos en una red articulada de los mismos en términos temáticos– como por ejemplo, nutrición, óptica, enlaces químicos, sino, de explicar un fenómeno como puede ser la obesidad humana, que es el caso que nos ocupa. De esta manera, no se trata de aprenderse conceptos que no sirvan para ser aplicados en la explicación de algún fenómeno; lo cual permitiría alejarse de la docencia y el aprendizaje memorístico de definiciones e identificación de elementos desarticulados.

Es así que un concepto como el de modelo científico –que sirve, como ya se dijo, de intermediario entre la teoría generada en una disciplina científica y el mundo fenoménico– nos permitirá abundar en cuestiones de comprensión y no de memorización cuando se diseña y valida una SD.

Con esta intención orientada a la comprensión, Izquierdo y Adúriz (2003) e Izquierdo (2007), a partir de considerar que la DC es una disciplina teórico-práctica, afirman que la didáctica es una ciencia del diseño de la *actividad científica escolar*. Y el diseño de esta actividad se lleva al cabo mediante la innovación; es decir, que se realizan intervenciones didácticas con el fin de desarrollar teorías (Izquierdo, 2007).

Por ello es que Izquierdo (2007, p. 129) afirma que la DC es una ciencia del diseño que avanza gracias a innovaciones evaluadas. Y concluye afirmando que este modelo de conocimiento escolar

–dinámico, moderadamente racional y razonable– establece una diferencia radical entre lo que se aprende de memoria y lo que se razona –aplicándose tanto al ámbito científico como al escolar– y asevera que el diseño de la ‘actividad científica escolar’ forma parte del núcleo teórico de la DC –con la ayuda de la epistemología, praxeología, axiología y de las ciencias cognitivas (Izquierdo, 2007, pp. 129-130).

Para Izquierdo (2007, p. 131), la *actividad científica escolar* es un concepto fundamentado en una concepción cognitiva de ciencia proveniente de la postura de R. Giere. Significa que el conocimiento que construya el estudiante ha de ser teórico y práctico a la vez y desarrollarse racionalmente, no sólo en términos científicos sino también personales. Así, la actividad científica que se debe impulsar educativamente en las escuelas es aquella ‘actividad’ proveniente de los saberes teóricos incorporados en la enseñanza, la cual enfatiza que lo importante en la docencia es transmitir a los alumnos ‘modelos teóricos’ que dan significados a los hechos y no a los conceptos, lenguajes o hechos ya interpretados; lo cual resulta de vital importancia en la intención de incorporar una visión de ciencia que promueva la comprensión y no la memorización.

Así, Izquierdo (2007, p. 132) afirma:

Enseñar ciencias es enseñar a pensar de manera teórica y para ello este concepto de *teoría* [cognitiva de hacer ciencia] resulta muy adecuado, puesto que destaca algo muy importante: que las teorías son para comprender el funcionamiento del mundo y que nunca la supuesta «verdad» o «rigor» de una teoría ha de hacer más opaca nuestra relación con los fenómenos.

De esta manera, si bien estamos de acuerdo con M. Izquierdo en la adopción del concepto de ‘actividad científica escolar’ y con ella en la de ‘modelos científicos escolares’ y, en su intención de transmitir a los alumnos ‘modelos teóricos’ que den significado a los fenómenos, tenemos nuestra propia interpretación de lo que significan tales modelos.

Desde nuestra perspectiva, los ‘modelos científicos escolares’ pueden adquirir distintas connotaciones a partir de la concepción de modelo que se adopte. En nuestra concepción –que será mostrada más adelante en este capítulo– se incluye no sólo una dimensión epistemológica, sino también ontológica a partir de la definición de modelo de R. Gutiérrez (véase modelo Onepsi).

Concordamos con que realizar una actividad científica escolar significa comprender por qué un fenómeno objeto de atención de la ciencia sucede como sucede, a partir de registrar manifestaciones fenoménicas, de configurar un sistema representativo del mismo que permita presumir razones de su comportamiento y de hacer posibles predicciones acerca del mismo; con lo cual estaríamos en condiciones de poder incorporar una visión de modelos/modelización dentro de un sistema educativo.

Así, dentro de nuestra aproximación al asunto, ‘visualizar’ tal sistema consiste, esencialmente, en elaborar una representación del mundo real que permita explicar un fenómeno al identificar los entes que lo componen y las propiedades que presentan éstos; establecer las relaciones causales entre los entes que forman parte del sistema, y visualizar las reglas de comportamiento en éste que nos permita la predicción de comportamientos futuros del sistema; por lo que esta ‘visualización’ del sistema en el ámbito escolar y, por lo tanto, didáctico, consiste en la búsqueda de un modelo de modelo teórico para la actividad científica escolar.

De aquí que nos hayamos basado en el concepto de *modelo científico escolar* desarrollado por Izquierdo (2007), Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009) y Adúriz-Bravo (2013). El cual, como se verá más adelante en este texto, es interpretado como *Modelo Científico Escolar de Arribo* (López y Mota y Moreno-Arcuri, 2014) y ejemplificado en su formulación (capítulo 6) y en su uso para la obtención de resultados (capítulo 7).

Representaciones espontáneas

El estudio de la forma espontánea de pensar de los sujetos comienza en la literatura didáctica con la publicación del libro de Ausubel: *Educational psychology: a cognitive view*, en 1968 (Psicología Educativa: un punto de vista cognoscitivo). En él se introduce el concepto de “misconception” (concepciones erróneas) o “preconception” (preconceptos). Pero podría decirse que los antecedentes de esta tradición de investigación en DC fueron los estudios piagetianos. Tales estudios fueron puestos en entredicho por Driver y Easley en su conocido artículo de 1978, “Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students”, en el que ofrecen una alternativa a los planteamientos piagetianos, inspirados en el trabajo de Ausubel. De esta manera introducen un nuevo paradigma de investigación en DC: la investigación y el estudio de los “alternative frameworks” (marcos alternativos o ideas alternativas) de los alumnos.

Los estudios de Piaget sobre distintas nociones científicas en niños/as y adolescentes son bien conocidos e incluye asuntos como: ‘la representación del mundo en el niño’, ‘el desarrollo de la noción de tiempo’, ‘las nociones de movimiento y rapidez’, ‘las representaciones del espacio’, entre los más relevantes para la DC; si bien investigó estos temas ligados al desarrollo de las estructuras cognitivas (Inhelder y Piaget, 1972).

Piaget (1978, p. 11), en su estudio sobre la mencionada ‘representación del mundo en el niño’, afirma que el problema que se propone estudiar es, formulado en forma de pregunta, “¿qué representaciones del mundo se dan espontáneamente²⁴ en los niños en el transcurso de las diferentes etapas del desarrollo intelectual?”.

Sin embargo, el estudio de las representaciones espontáneas de los estudiantes sufrió un cambio de dirección, el cual tuvo un gran

²⁴ Rasgo fundamental en la caracterización de la conceptualización de niños, adolescentes, jóvenes y también adultos, que se diferencia claramente de los conceptos adquiridos por ellos provenientes del proceso de instrucción escolar.

impacto en el campo de la DC. Ello, debido a que las investigaciones de Piaget no tenían el propósito de ‘rastrear’ el desarrollo de las nociones mencionadas en relación explícita con los temas y conceptos de las ciencias (principalmente la física o las matemáticas) y porque en su teoría del desarrollo mental de los sujetos planteaba el desarrollo de las estructuras cognitivas como independientes de los ámbitos de conocimiento.

Es a partir del artículo de Driver y Easley (1978), antes mencionado, que se suceden en la literatura didáctica un gran número de escritos dedicados a dar cuenta de las representaciones espontáneas de los estudiantes en lo que respecta a conceptos vinculados a la física, química, biología y geología. Uno de éstos, que es citado frecuentemente como uno de los primeros, es el trabajo de Viennot (1979) en el terreno de la física, específicamente en el de la mecánica.

Este esfuerzo por indagar las representaciones espontáneas de los estudiantes es evidente, ya que, desde que empezaron a proliferar este tipo de investigaciones, se realizaron revisiones de la producción científica de las concepciones espontáneas de los estudiantes, buscando obtener claridad respecto de lo que se pretendía a partir de los logros alcanzados.

Años más tarde, aparece el artículo de Gilbert y Watts (1983), quienes refieren el uso de diversas denominaciones –concepciones confusas, preconcepciones, concepciones alternativas, ciencia infantil– y reclaman una clarificación epistemológica y ontológica del uso de los descriptores para referirse a este fenómeno.²⁵

El dinamismo de las investigaciones en reportar el pensamiento espontáneo de los estudiantes en sí mismo ha decrecido, pero no su papel dentro del campo. Esto es evidente al revisar los asuntos de investigación que aparecen en el *Second International Handbook of Science Education*, mencionados anteriormente en este texto; pues las ‘ideas previas’, o como se les quiera denominar, no aparecen como asunto de investigación específico. Sin embargo, sí lo

²⁵ Cfr. también, a este respecto, Gunstone (1989), Cubero (1994).

hacen dentro del asunto llamado “learning and conceptual change” (aprendizaje y cambio conceptual). Por ejemplo, Vosniadou (2012) se refiere a la necesidad de reenmarcar la teoría clásica de cambio conceptual (Posner, Strike, Hewson, y Gertzog, 1982) y considerar las *preconceptions* and *misconceptions* como ‘modelos sintéticos’ de pensamiento; pero manteniendo el interés por utilizar los resultados para desarrollar currículos y propuestas de instrucción, aun dentro de la tradición de cambio conceptual.²⁶

Sin embargo, la información generada por las investigaciones realizadas sobre representaciones espontáneas de los estudiantes en ámbitos de la física, química, biología y geología ha sido tema de referencia para la tarea de diseñar y validar SD. Esto es evidente en la revisión realizada previamente, con respecto al campo de investigación sobre SD y las distintas ‘escuelas’ para su abordaje; ya que la ‘reconstrucción educativa’, la ‘demanda cognitiva’, la ‘ingeniería didáctica’, la ‘hipótesis de aprendizaje’ y la ‘investigación del desarrollo’ consideran las representaciones espontáneas para su planteamiento didáctico.

En el caso de la ‘reconstrucción educativa’, el modelo considera en el sector 2 –‘investigaciones sobre enseñanza y aprendizaje’– los ‘puntos de vista de los que aprenden (opiniones y concepciones, junto con las variables afectivas)’; los cuales son puestos en relación con el sector 1 –‘análisis de la estructura de los contenidos’– en lo que se refiere a ‘la estructura de los contenidos para la enseñanza’ con el fin de diseñar SD (Duit, 2006, 2007; Duit *et al.*, 2012).

En lo que respecta a la ‘demanda de aprendizaje’, Leach y Scott (2002) utilizan las concepciones espontáneas de los estudiantes para identificar, en un nivel de precisión fino, los desafíos enfrentados en un dominio específico de la ciencia, al comparar tales concepciones con el contenido científico a ser enseñado.

²⁶ La propuesta de cambio conceptual centra su atención, primordialmente, en la transformación de conceptos; a diferencia de la aproximación de modelos/modelización utilizada en este libro, que se focaliza en la explicación de fenómenos. Ello conlleva, también, la modificación de los conceptos de origen espontáneo.

También la ‘ingeniería didáctica’, por medio de su ‘hipótesis de aprendizaje’ (Buty, Tiberghien y Le Maréchal, 2004), examina el papel del conocimiento previo de los estudiantes –escolar y espontáneo– y permite establecer la ‘distancia’ que el estudiante debe ‘recorrer’ entre el conocimiento inicial de éste y el conocimiento planteado en la enseñanza.

Aun la posición pragmática de Linjse (2010b) sobre ‘investigación del desarrollo’ admite que puede estar de acuerdo con muchos otros investigadores sobre la necesidad de tomar en cuenta el ‘conocimiento previo’ de los estudiantes en las estrategias mejoradas de enseñanza; para lo cual acepta un ‘constructivismo trivial’²⁷ y le otorga un gran poder de decisión al alumno, ya que es él quien construye conocimiento.

Continuidad entre pensamiento espontáneo y científico

En el planteamiento del diseño y validación de SD, un punto a despejar es el del papel que juega el pensamiento elaborado en las disciplinas científicas, habiendo reconocido desde la DC que es indispensable conocer y tomar en cuenta la manera espontánea de pensar de los estudiantes –como ya previamente se ha subrayado.

La aclaración de tal rol –de los planteamientos considerados científicos– a la luz de enseñar y construir conocimiento científico escolar entre los estudiantes, interesa el asunto de si es suficiente que los estudiantes transformen su manera de pensar –en cualquier dirección, mientras sea un acto de modificación de la manera actual de pensar– o esa manera de concebir los fenómenos y conceptos científicos tiene que construirse en la dirección del conocimiento aceptado como estándar por la comunidad científica.

²⁷ De acuerdo con la nomenclatura de Glaserfeld, E. von (1989). Cognition, construction of knowledge, and teaching. *Synthese* 80, pp. 121-140, para designar un constructivismo basado en un realismo moderado, en el que no domina un ‘constructivismo radical’ –la realidad es prácticamente imaginada–, ni tampoco un objetivismo cercano al empirismo.

Es en este sentido que se plantea el abordaje de este asunto, ya que se asume que la construcción de conocimiento científico escolar –en nuestro caso, de ‘modelos científicos escolares’– debe dirigirse hacia el conocimiento considerado científico por la comunidad. O sea, es a partir de este supuesto, que resulta pertinente realizar la pregunta de si es posible transitar del pensamiento espontáneo de sentido común, al pensamiento de carácter científico.

Esto, sobre todo cuando se trata del planteamiento específico de concebir –dentro del diseño y validación de secuencias didácticas– el propósito y el mecanismo de elaboración del MCEA (véase más adelante en este mismo capítulo el planteamiento conceptual y en el capítulo 6 su forma de implementación). Ya que este dispositivo teoricometodológico denominado MCEA, incluye la elaboración del ‘modelo inicial de los estudiantes’ –proveniente de la literatura de ideas previas–, el ‘modelo curricular’ que puede inferirse del programa de estudios correspondiente al asunto a tratar y el ‘modelo científico’ del fenómeno científico abordado, los cuales son puestos en modo de comparación con el fin de postular el modelo al cual nos proponemos llegar (MCEA) mediante una SD; lo cual implica que el modelo de referencia a alcanzar (MCEA) está en ‘línea’ con el ‘modelo científico’.

Para sostener este postulado, de que el ‘modelo científico escolar de arriba’ debe de estar en ‘línea’ con el modelo utilizado por la ciencia para explicar el fenómeno de referencia –en nuestro caso el de la *obesidad humana*–, es necesario recurrir al ámbito de investigación de la ciencia cognitiva y recuperar el posicionamiento al respecto de N. J. Nersessian.

La autora está interesada en la naturaleza de los procesos o ‘mecanismos’ –como ella enfatiza– que subyacen en la construcción del conocimiento científico, pues estos procesos facilitan o constriñen las prácticas en los estudios científicos (Nersessian, 2002). Estos procesos estudiados por Nersessian (2002) son: ‘modelización genérica y cambio conceptual’, ‘modelización analógica’, ‘modelización visual’ y ‘modelización simulativa’; si bien no es propósito de

este texto profundizar en las características de cada uno de ellos, sino mostrar la funcionalidad genérica de los mismos.

Ahora bien, tales procesos son de gran importancia para el ‘cambio conceptual’ que se lleva a cabo en el desarrollo científico de variadas disciplinas, ya que es por esos medios que los conceptos y las estructuras utilizados en la búsqueda científica pueden transformarse (Nersessian, 2008). Esto debido, parcialmente como dice ella, a similitudes en las características del cambio conceptual presentes en esas disciplinas, tales como cambios ontológicos y grados de ‘incomensurabilidad’; lo que le lleva a plantear que los mismos procesos o parecidos, se ponen a trabajar en distintos tipos de cambio conceptual.

Ahora bien, la posición de Nersessian (2002) acerca del estudio de los medios cognitivos utilizados por los científicos para avanzar en la construcción científica, consiste en que para la comprensión del conocimiento científico y su práctica es necesario tomar en cuenta cómo las *habilidades cognitivas humanas* y sus limitaciones permiten y constriñen las prácticas y productos de la empresa científica. Así, ella busca centrarse en las bases cognitivas de prácticas de razonamiento basadas en modelos; prácticas caracterizadas por su creatividad en la forma de razonar y que llevan al cambio representacional –cambio conceptual–. Lo interesante de este planteamiento es que las representaciones científicas genuinamente originales, deben empezar a partir de las representaciones existentes; lo que abre la puerta para plantear una relación de continuidad entre el pensamiento espontáneo y el pensamiento científico.

Para Nersessian (2002), en lo que respecta a la ‘modelización genérica’, tanto en la cognición espontánea como en la comprensión científica, los procesos involucrados implican un paralelismo, en cuanto que ambos pretenden la solución de un problema; pues los estudiantes están involucrados en dar cuenta de fenómenos de interés científico que exigen explicación y en comprender la conceptualización científica vigente en un dominio del conocimiento, mientras que los científicos se enfrentan al desafío de dar cuenta de mejor manera o con más profundidad de tales fenómenos.

Sin embargo, para la ‘modelización simulativa’ –la cual concuerda con nuestra adopción y uso del modelo Onepsi (cfr. Siguiente sección)– Nersessian (2002, p. 149) afirma que los experimentos mentales²⁸ ‘pueden ser construidos como una forma de razonamiento simulativo que puede darse en conjunción con otros tipos de razonamiento basado en modelos físicos’. Y prosigue con la afirmación de que los modelos experimentales mentales ‘requieren la comprensión de las restricciones más destacadas que gobiernan entidades o procesos en el modelo, así como las posibles relaciones causales, estructurales y funcionales entre éstas’.

De esta manera Nersessian (2002) concluye que, debido a que la simulación producida en un experimento mental cumple con las mismas restricciones del sistema físico que representa, es posible realizar una simulación con un modelo mental al permitir la realización de inferencias acerca de fenómenos del mundo real.

Sin embargo, ambos tipos de agentes de conocimiento –estudiantes y científicos–, avanzan al percibir las insuficiencias de sus comprensiones y construyen nuevas representaciones científicas –genuinamente científicas o científicas-escolares– por sí mismos. El disparador del proceso para solucionar un problema –según la autora– puede originarse al adquirir nueva información, encontrar un fenómeno desconcertante o percibir maneras insuficientes de comprender un asunto en cuestión. A fin de cuentas, la situación consiste en enfrentarse con un problema y buscar resolverlo.

En el planteamiento de Nersessian (2002, p. 135) no parece haber ambigüedad con respecto a la hipótesis de continuidad entre las prácticas cognitivas de los científicos y el tipo de prácticas humanas empleadas para ‘lidiar’ con el entorno físico y social y resolver problemas del tipo más ordinario, al ser consideradas las primeras una extensión de las segundas. Más aún, afirma que los

²⁸ Forma de representación mental que permite confrontar un modelo imaginado con respecto al sistema físico que este modelo representa para describirlo, explicarlo y predecirlo.

científicos extienden y refinan las estrategias cognitivas básicas en reflexivos y críticos intentos para diseñar métodos de comprensión de la naturaleza.

Para poder dar cuenta de los procesos o ‘mecanismos’ mencionados, es necesario sentar las bases que hagan posibles los distintos tipos de comportamiento cognitivo de científicos y humanos en general; esto es, dar cuenta de la cognición –mediante distintos procesos– mediante la modelización mental. Ahora bien, para que tales procesos o ‘mecanismos’ sean posibles, es necesario postular un concepto de modelo mental.

Es así que Nersessian señala que aquellos que favorecen el posicionamiento de la ‘modelización mental’ argumentan que la capacidad humana original fue desarrollada como medio de simular posibles ‘caminos’ para maniobrar frente al entorno físico. Y que tal comportamiento debiera de ser muy adaptativo para poseer la capacidad de anticipar el entorno y las posibles acciones de respuesta; por lo que es muy probable que muchos organismos hayan desarrollado la capacidad de modelización mental a partir de percepciones.

Sin embargo, dadas las habilidades lingüísticas de los humanos –prosigue– debería de ser posible crear modelos mentales a partir de la percepción, pero también de la descripción. De esta manera, la noción de comprensión y razonamiento por la vía de la ‘modelización mental’ es mejor apreciada como proveedora de un marco explicativo para estudiar fenómenos cognitivos. Ahora bien, este marco requiere de una conceptualización de ‘modelo mental’.

La primera aproximación de Nersessian (2002, p. 141) sobre ‘modelo mental’, es considerarlo una forma de organización del conocimiento. Y se refiere al ‘modelo mental’ de Philip Johnson-Laird que, en su famoso libro de 1983, lo concibió como una estructura análoga de un mundo real o una situación imaginaria, evento o proceso que la mente construye al razonar. Para ella, que tal modelo mental sea una estructura analógica del mundo real significa que encarna una representación de las relaciones espaciales

y temporales sobresalientes –así como las estructuras causales de conexión– de eventos y entidades representadas y de cualquier otra información relevante para la solución de un problema. Y añade que el modelo mental es un análogo de la realidad en cuanto preserva las restricciones inherentes de lo que es representado; pues los modelos mentales no son imágenes de la realidad.

Aunque también Nersessian (2008, p. 4) apunta la siguiente definición de modelo mental: es una representación de objetos, procesos o eventos que captan las relaciones estructurales, conductuales o funcionales significativas para comprender tales interacciones. Y como se apreciará en la siguiente sección, esta noción de modelo resultará importante cuando se presente la definición de modelo –aplicable tanto al ámbito científico del conocimiento, como al ámbito de la construcción de conocimiento científico escolar.

Por último, baste mencionar que, de acuerdo con el planteamiento de N. Nersessian, la naturaleza específica del proceso de manipulación del modelo está vinculada a la naturaleza del formato de la representación; sea ésta con base en el lenguaje, fórmulas, imaginación o analogía, que hacen posible diferentes tipos de operaciones.

Así, la continuidad entre pensamiento espontáneo y pensamiento científico puede resumirse en palabras de Nersessian (2002, p. 142):

Mi análisis del razonamiento basado en modelos adopta únicamente una hipótesis ‘minimalista’: [aquella de que] en ciertas tareas de resolución de problemas, los humanos razonan mediante la construcción de modelos mentales de las situaciones, eventos y procesos [presentes] en la memoria de trabajo que, en casos dinámicos, puede ser manipulada mediante simulaciones.²⁹

²⁹ El original en inglés: “My analysis of model-based reasoning adopts only a ‘minimalist’ hypothesis: that in certain problem-solving tasks humans reason by constructing a mental model of the situations, events and processes in WM that in dynamic cases can be manipulated through simulation”.

PROPUESTA TEÓRICOMETODOLÓGICA PARA DISEÑAR Y VALIDAR SECUENCIAS DIDÁCTICAS

Con el propósito de hacer posible una propuesta de diseño y validación de secuencias didácticas bajo la orientación de modelos/modelización, es que he recurrido al planteamiento de modelo Onepsi³⁰ (Gutiérrez 2001, 2017). Ello, con el fin de darle cuerpo al concepto de ‘modelo científico escolar’, de Izquierdo (2007) y Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009) y Adúriz-Bravo (2013), y poder transitar al constructo de Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) de López y Mota y Moreno Arcuri (2014) para diseñar y validar secuencias didácticas.

Modelo Onepsi

El modelo Onepsi responde a la necesidad detectada de valerse de un ‘dispositivo’ teórico-metodológico para monitorear los mecanismos del cambio conceptual³¹ en individuos al pasar de una concepción a otra (Gutiérrez, 2001, 2007). Dicho modelo está inspirado, como esta autora establece, en el ‘modelo mental mecánico’³² de De Kleer y Brown (1983), en características basadas en creencias personales y hechos notados en contextos culturales (en la forma de restricciones de carácter ontológico y epistemológico), así como en el ‘motor’ psicológico que mueve a un estudiante para cambiar sus concepciones.

³⁰ Acrónimo proveniente de *ontológico, epistemológico y psicológico*.

³¹ Después del auge en investigación que se tuvo en relación con ‘ideas previas’, vino una oleada de investigaciones acerca del ‘cambio conceptual’ –transformación de las concepciones espontáneas de los sujetos en ciencias, hacia concepciones más cercanas a la ciencia estándar– sobre todo a partir del trabajo de Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), 211-227.

³² Modelo desarrollado para implementar programas computacionales en máquinas inteligentes, mediante el uso de modelos mentales.

Para detectar la mencionada necesidad de contar con una forma de monitorear los mecanismos del cambio conceptual, Gutiérrez (2001) recurre a la revisión de diversas contribuciones: ‘cambio conceptual’ en educación en ciencias, ‘cambio conceptual’ en ciencia cognitiva, ‘modelos mentales’ (S. Vosniadou), ‘modelo mental mecánico’ de De Kleer y Brown; para luego proponer su modelo Onepsi. Así pues, nos centraremos en este último.

La teoría de ‘modelo mental mecánico’ de De Kleer y Brown es resumida concisa y claramente por Gutiérrez (2001, 2007) al afirmar que la propuesta asume que los sujetos construyen modelos mentales cuando observan un sistema físico dinámico y desean explicar cómo éste funciona y predice cómo cambiará en el tiempo. Los elementos planteados por De Kleer y Brown corresponden a los establecidos por Johnson-Laird en su tesis doctoral (1983), pero de esta manera: *a*) a partir de observar el comportamiento de un sistema físico, se obtiene una *primera representación* mental del mismo, que contiene las entidades y las propiedades de las mismas, que el sujeto considera importantes, según la finalidad del modelo que quiere elaborar; *b*) de aquí se deduce otra representación interna, *un modelo causal*, integrado por las entidades y sus propiedades y las reglas de inferencia que *explican* las relaciones entre las entidades y permiten *predecir* futuros comportamientos del modelo; en el caso de los modelos mentales mecánicos, las reglas de inferencia vienen determinadas por el principio causal (Bunge, 1959), según el cual (en algunas de sus formulaciones) si hay efecto existe necesariamente una causa; y a toda causa sigue necesariamente un efecto;³³ *c*) el modelo causal así construido tiene la propiedad de poder ejecutarse mentalmente (*simulación mental*, en el sentido informático del término). De esta manera, se puede comparar el comportamiento del modelo causal así construido con la conducta del sistema real, para comprobar si el comportamiento modelizado se corresponde el comportamiento del sistema físico real.

³³ Y esto es así por la propia naturaleza de las entidades que son agentes y pacientes de la acción causal (compromiso ontológico).

Las restricciones a las que debe ajustarse el comportamiento del modelo causal también son señaladas por Gutiérrez (2001, 2007) y son las siguientes: el modelo tiene que ser *coherente* con las entidades y las propiedades de las mismas, explicitadas en la primera representación del sistema; tiene que ser *correspondiente*, es decir, que el comportamiento modelizado del sistema coincida con el comportamiento del sistema real, si éste se pusiera en marcha, y tiene que ser *robusto*, lo que significa que el modelo mental construido sirva para nuevas o inesperadas conductas del sistema.

Así, con el recorrido realizado en los ámbitos de la didáctica de las ciencias, de las ciencias cognitivas y la inteligencia artificial, R. Gutiérrez logra una articulada y consistente sustentación de cómo los sujetos construyen y reconstruyen conocimiento basándose en cómo se construyen y reconstruyen modelos mentales. Y para cerrar el ciclo de construcción/reconstrucción, Gutiérrez (2001, 2017) añade una condición esencial: los sujetos se ven impulsados internamente a la reconstrucción de sus modelos mentales cuando las condiciones de coherencia, correspondencia y robustez no se cumplen, porque sienten la *necesidad psicológica* de que su pensamiento esté de acuerdo consigo mismo y también con el mundo que les rodea.

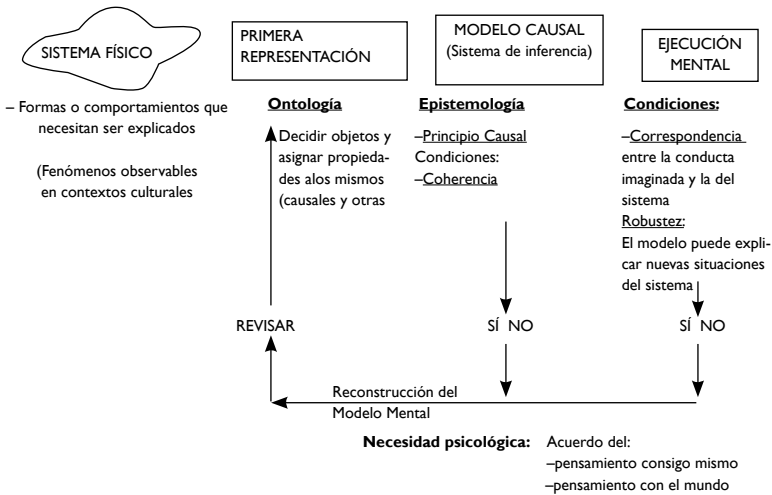
En la figura 3 se ofrece una representación gráfica del modelo Onepsi, en la cual pueden observarse la dinámica de construcción y reconstrucción de los modelos mentales:

Dos aspectos del planteamiento de R. Gutiérrez son de vital importancia para la investigación en DC, en particular para el diseño y validación de secuencias didácticas –como veremos más adelante en este texto–, los cuales son:

- Afirmar que el mecanismo que impulsa la construcción/reconstrucción de modelos mentales es la necesidad de que éstos sean coherentes, consistentes y robustos, para lograr acuerdo con su propio pensamiento y con los datos obtenidos del mundo externo (Gutiérrez, 2001, p. 41).
- Dar cuenta de un fenómeno escasamente detectado –en su momento– en la investigación en didáctica de las ciencias:

la dinámica del pensamiento de los sujetos (Gutiérrez, 2001, p. 41).

Figura 3. Modelo Onepsi para la construcción y reconstrucción de modelos mentales.



Fuente: Gutiérrez, 2001, 2017.

El modelo Onepsi integra dos elementos importantes del sistema de creencias de los sujetos –ontológico y epistemológico– y muestra cómo funciona este modelo mental en la construcción y reconstrucción de éste, es decir, con la construcción y reconstrucción del conocimiento que el sujeto adquiere sobre el sistema que observa. De esta manera, este proceso describe un mecanismo espontáneo de *aprendizaje*, común a todos los sujetos.

En nuestra opinión, la aportación de R. Gutiérrez no se limita solamente a suministrar un *marco teórico* (modelo Onepsi) para mostrar la evolución de los modelos mentales de los alumnos, sino que con la aplicación de la técnica del *teachback*³⁴ también aporta

³⁴ La técnica del *teachback* consiste en un modo especial de “conversación didáctica”, basada en la “Conversation theory” de G. Pask (1976). Mediante esta “conversación” es posible hacer un análisis fino del pensamiento espontáneo de los

un *método* para monitorear las transformaciones dinámicas de esos modelos mentales. De esta manera, incorpora al campo de investigación de DC una concepción de modelo que permite relacionar el ámbito cognitivo espontáneo de los estudiantes con el ámbito del pensamiento científico (Gutiérrez, 2017), con el propósito de poder transitar del primero hacia el segundo.

Todo este interés por los mecanismos finos para monitorear la dinámica de las transformaciones de estudiantes en la construcción de conocimiento –en sus ámbitos ontológico, epistemológico y psicológico presentes en el modelo Onepsi– ha desembocado en una formulación clara y precisa de modelo científico (Gutiérrez y Pintó, 2005), el cual puede aplicarse tanto al ámbito del pensamiento científico como al del pensamiento espontáneo.

Un modelo científico es una representación real o conjeturada de un sistema, consistente en un conjunto de objetos, *con una lista de sus principales propiedades*, y un conjunto *de enunciados legales* que declaran el comportamiento de tales objetos (Gutiérrez y Pintó, 2005).³⁵

Esta definición de modelo, con toda la sustentación expuesta para la postulación del modelo Onepsi, así como el supuesto de continuidad entre el conocimiento espontáneo y el conocimiento científico –expuesto al abordar el planteamiento de N. Nersessian– ha sido pieza fundamental para hacer operable en la investigación en SD el concepto de MCEA; el cual será abordado a continuación.

alumnos y, basándose en las posibles carencias de coherencia, correspondencia y robustez de los modelos mentales detectados, hacer que el propio alumno sienta la necesidad de reconstruir sus modelos hacia otros más adecuados, llevándolos, de esta manera, hacia la aproximación a los modelos científicos deseados. No es éste el espacio adecuado para explicar esta técnica. Para ello, véase Gutiérrez (2003).

³⁵ En inglés el original: A scientific model is a representation of a real or conjectured system, consisting in a set of objects with its outstanding properties listed, and a set of law statements that declare the behaviours of these objects.

Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA)

El MCEA nace de varias necesidades (cfr. López y Mota y Moreno-Arcuri, 2014) en la investigación sobre SD: ‘anclar’ en el ámbito didáctico una preocupación metacientífica como el abordaje de modelos en la corriente semanticista de la epistemología; dar ‘cuerpo’ al concepto teórico de ‘modelo científico escolar’ presente en la investigación didáctica; instalar un ‘punto’ de referencia a ser alcanzado mediante el desarrollo de una estrategia de intervención didáctica; disponer de una ‘fuente’ de derivación de criterios para el diseño y validación de secuencias didácticas.

El concepto fue presentado por primera vez en el año 2011 en un encuentro de profesores de ciencias naturales, posteriormente se hizo presente en forma de ponencia en un congreso (López y Mota y Rodríguez-Pineda, 2013), para exponerse de manera escrita más extensa en forma de artículo (López y Mota y Moreno-Arcuri, 2014) y convertirse en un referente para la realización de tesis de maestría y doctorado –como son los resultados mostrados en los capítulos 6 y 7– y presentación de ponencias en diferentes congresos (López y Mota *et al.*, 2015).

Conceptualización

El MCEA es un dispositivo teoricometodológico dentro del campo de investigación sobre SD, ya que –como se dijo– pretende dar ‘cuerpo’ al concepto teórico de ‘modelo científico escolar’³⁶ al postularlo como una hipótesis directriz de diseño de SD, que se convierte en ‘fuente’ de generación de criterios de diseño de SD, así como en ‘molde’ testable de los logros alcanzados en el desarrollo de SD.

Así, es posible transitar del interés por los modelos científicos manifestado por R. Giere,³⁷ dentro de la corriente semanticista de la

³⁶ Véase sección correspondiente en este mismo capítulo.

³⁷ Véase sección correspondiente en este mismo capítulo.

epistemología, hacia la incorporación de éstos al ámbito didáctico para posibilitar la construcción de conocimiento en él mediante el concepto de ‘modelo científico escolar’ de M. Izquierdo y A. Adúriz³⁸ y ‘aterrizar’ el uso de modelos en el terreno científico de DC al incorporar el MCEA en el diseño y validación de SD.

De esta manera, es posible ubicarse con certeza dentro del ámbito de la epistemología –dentro de la corriente semanticista–, tomar ventaja de conceptos concebidos en el terreno teórico de la DC e introducir el MCEA dentro del terreno de la investigación en didáctica de las ciencias, como dispositivo teoricometodológico para el diseño y validación de SD.

Sin embargo, la viabilidad del MCEA no sería posible si no se introdujera el concepto de modelo –aplicable a los ámbitos del pensamiento espontáneo y del científico–, ya que como se vio en la sección dedicada al modelo Onepsi de R. Gutiérrez,³⁹ de éste se derivó la definición de modelo; el cual presenta características ontológicas –entidades y sus propiedades–, epistemológicas –establecimiento de relaciones causales para explicar un fenómeno y para predecir el comportamiento futuro de un sistema real.

Componentes

La definición de modelo mencionada actúa de ‘medio’ homogeneizador para hacer comparables las dimensiones cognitiva estudiantil, curricular y científica del MCEA. Esto, debido a que para cualquier planteamiento de diseño de SD es necesario tomar en cuenta el pensamiento espontáneo de los estudiantes, el planteamiento curricular y el conocimiento científico establecido. Pero, con el fin de poner el contenido de estas tres dimensiones en ‘tensión’ para un propósito de enseñanza determinado, es indispensable que dichas dimensiones estén expresadas en función de

³⁸ Véase sección correspondiente en este mismo capítulo.

³⁹ Véase sección correspondiente en este mismo capítulo.

modelos. De esta manera, es posible expresar dichas dimensiones en términos de:

- *Modelo Estudiantil Inicial (MEI)*: son las representaciones evidenciadas de los estudiantes relativas a un fenómeno natural –ejemplo, la *obesidad humana*, la transformación de una sustancia cuando entra en contacto con otra o la caída de un cuerpo en las cercanías de la tierra cuando es ‘soltado’–. Estas representaciones pueden inferirse básicamente de dos formas: una, por medio de los reportes de investigación sobre conceptualizaciones espontáneas y otra, mediante la evocación de sus modelos mentales por medio del uso de técnicas como el *teachback* ya mencionado. En ambos casos se tiene como referente categorial la definición de *modelo* mencionado previamente.
- *Modelo Curricular (MCu)*: es la representación presente en un currículo que explica un fenómeno natural específico y que de manera corriente en la educación básica corresponde a un modelo ‘atenuado’, proveniente de un modelo científico. Este trabajo generalmente requiere de un proceso inferencial realizado a partir de los contenidos temáticos presentes en el currículo y, también, mantiene como referente la definición de *modelo* adoptado.
- *Modelo Científico (MCi)*: son las representaciones científicas en forma de modelos que dan cuenta de un fenómeno seleccionado. Ello requiere un trabajo de búsqueda –puesto que los libros no están escritos para dar a conocer los modelos que permitieron la formulación de leyes y teorías– y selección –ya que puede haber modelos de ciencia estándar de nivel universitario y modelos de frontera en la ciencia–, dentro del ámbito de referencia al elegir el fenómeno natural de interés.

Estos tres modelos –MEI, MCu y MCi– son comparados entre sí con el propósito de postular el MCEA, como veremos más adelante.

Esta postulación es posible a partir del análisis de las semejanzas y diferencias entre estos tres modelos en relación con las entidades, las propiedades, las relaciones causales y las expresiones de comportamiento generalizado que dan cuenta del fenómeno natural de referencia; buscando identificar los ‘huecos’ presentes en los MEI, en función de lo planteado por el MCu y en línea con el MCi.

En una publicación anterior (López y Mota y Moreno-Arcuri, 2014) dimos cuenta de la postulación del MCEA para el caso del fenómeno de la fermentación –respiración anaerobia–, presente en la enseñanza de ciclo educativo secundario en México. En el presente libro se dará cuenta de manera pormenorizada del MCEA para el fenómeno de la *obesidad humana*, también objeto de enseñanza en la educación secundaria mexicana. Esto se hará en el capítulo 6 de esta obra.⁴⁰ En ella se detallarán el fenómeno objeto de modelización, la formulación de MEI, MCu, MCi y la postulación del MCEA; incluido el proceso de postulación de éste y la derivación de criterios de diseño de la SD.

Para el tratamiento de lo que corresponde a la utilización del MCEA en el caso de diseño y validación de una SD, dirigida a la modelización de la *obesidad humana* en la enseñanza de educación primaria en México, se exponen los criterios de diseño, la secuencia misma y los resultados obtenidos mediante la aplicación de ésta. Todo ello queda presentado en el capítulo 7 del presente libro.

Funciones

El MCEA tiene tres funciones principales: *a*) servir como referente de logro a ser alcanzado mediante la aplicación de SD diseñada para ello; *b*) permitir la derivación de criterios de diseño de SD con el fin de articular los criterios teóricos presentes en el MCEA, para ser

⁴⁰ El contenido de dicho capítulo, elaborado por L. Galvis y F. Angulo, procede del trabajo de tesis de maestría de la primera autora, dirigida por el autor del presente capítulo.

implementados en las actividades cognitivas a ser desarrolladas, y c) utilizar el MCEA como hipótesis directriz a ser testada con el fin de validar la SD mediante los resultados de los estudiantes –en forma de modelos– al finalizar dicha secuencia.

SECUENCIAS DIDÁCTICAS COMO EXPRESIÓN DE DESARROLLO CURRICULAR

Como ya se mencionó previamente, en la sección de diseño y validación de secuencias didácticas –en este mismo capítulo– quedaron lejos los planteamientos de la formulación y puesta a prueba de currículos enteros de ciencias; dando pie al diseño y a la puesta a prueba de SD dirigidas a desarrollar algún asunto contenido en los mismos, presentando una envergadura limitada a unas cuantas sesiones.

Estas iniciativas más limitadas tienen la ventaja de ahora concebirse en la investigación didáctica como fundamentadas teóricamente –*theory-based* (Kortland y Klaassen, 2010)–, basadas en el diseño –*design-based* (Juuti y Lavonen, 2006)–, las cuales permiten llegar a conclusiones en términos de los aprendizajes esperados –*learning hypotheses* (Buty, Tiberghien y Le Maréchal, 2004)–, y funcionan como objetivos y dispositivos para la investigación didáctica –*aims and tools for science education research* (Méheut y Psillos, 2004).

Sin embargo, las SD proporcionan, desde nuestra perspectiva, la posibilidad de ofrecer información sustentada en la investigación didáctica de los aprendizajes esperados que se encuentran corrientemente en los currículos de la educación básica; con el fin de que los profesores conozcan lo que se espera de sus alumnos en el asunto curricular en cuestión. Ahora bien, esos aprendizajes esperados, ¿qué tan alcanzables son?, ¿se encuentran sustentados en la investigación? La respuesta es que, al menos en México, esto no es así, ya que son meras suposiciones derivadas de un trabajo especulativo

normativo, formuladas por los responsables de elaborar el currículo. Pero la referencia a un ejemplo específico daría más claridad sobre el asunto; lo cual será motivo de la siguiente sección.

Reconceptualización de los aprendizajes esperados

Para percibir más nítidamente la implicación que tiene la investigación didáctica en el establecimiento de aprendizajes esperados en los diseños curriculares, será de utilidad referirse a uno de ellos en particular; uno relacionado con la *obesidad humana*.

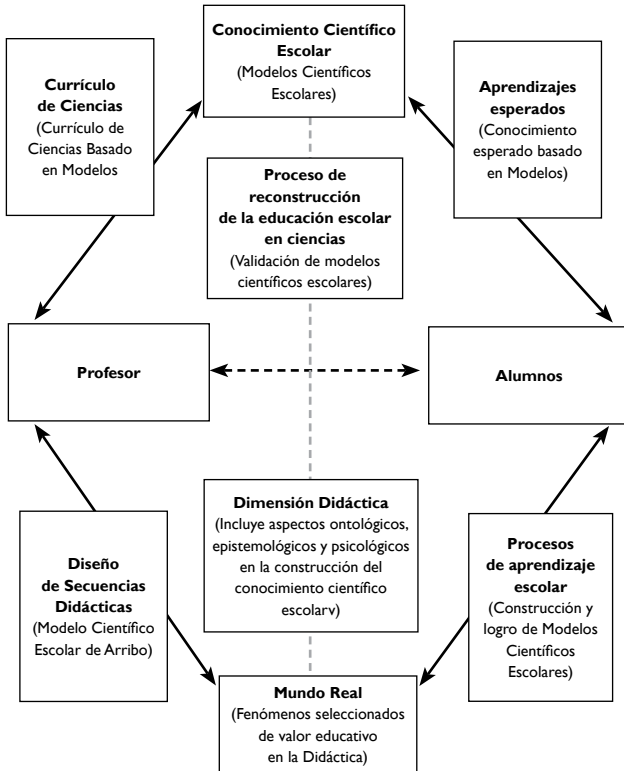
La Secretaría de Educación Pública (SEP), para el 2011, estableció como ‘aprendizaje esperado’: “[El alumno] Explica el proceso general de la transformación y aprovechamiento de los alimentos, en términos del funcionamiento integral del cuerpo humano” (SEP, 2011a, p. 43). Y para el 2017: “[El alumno] Explica cómo evitar el sobrepeso y la obesidad con base en las características de la dieta correcta y las necesidades energéticas en la adolescencia” (SEP, 2017, p. 180).

Pero ¿qué significa explicar lo que ahí se manifiesta? Pues está relacionado con entender cómo los alimentos se convierten en nutrientes, qué transformaciones son necesarias y qué entidades participan en ello, qué supuestos hay que sostener para afirmar el sobrepeso, etcétera. Pero también está asociado con ¿qué de eso que se quiere puede ser alcanzado por los alumnos?

En el capítulo 7 se abordará la cuestión de qué son capaces de alcanzar alumnos de educación primaria respecto de este fenómeno.

La reconceptualización de los ‘aprendizajes esperados’ es posible si se recurre a un planteamiento de la enseñanza y el aprendizaje fundamentado en modelos/modelización, como el representado en la figura 4.

Figura 4. Rombo didáctico para el diseño y validación de secuencias de enseñanza y aprendizaje



Fuente: ajustado de López y Mota y Moreno-Arcuri, 2014.

Tal reconceptualización puede apreciarse si se parte de considerar que los ‘aprendizajes esperados’ o su versión de ‘conocimientos escolares esperados basados en modelos’ tienen que ponerse a prueba mediante el diseño de secuencias didácticas basadas en modelos y cuyos resultados son confrontados con los ‘conocimientos científicos escolares’ establecidos en el currículo; los cuales sufren un ‘proceso de reconstrucción’ a partir de la validación de los modelos científicos escolares probados mediante SD y con el uso del MCEA. He aquí la manera en que una aproximación desde la I + D, puede contribuir al mismo tiempo a generar conocimiento –esclarecer los

conocimientos alcanzables por los estudiantes– y a transformar la educación –modificando lineamientos del currículo, como lo son los ‘aprendizajes esperados’.

REFERENCIAS

- Adúriz-Bravo, A. (2013). A ‘semantic’ view of scientific models for science education. *Science & Education*, 22(10), 1593-1611.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 130-140.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009, febrero). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(1), 40-49. ISSN (versión electrónica): 1850-6666.
- Artigue, M. (1995). Ingeniería didáctica. En Pedro Gómez (ed.), *Ingeniería didáctica en educación matemática. Un esquema para la investigación y la innovación en la enseñanza* (pp. 33-59). Bogotá, Colombia: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Artigue, M. (2002). Ingénierie didactique: quel rôle dans la recherche didactique aujourd’hui? En *Les dossiers des sciences de l’éducation* (núm. 8). *Didactique des disciplines scientifiques et technologiques: concepts et méthodes* (pp. 59-72). DOI: <https://doi.org/10.3406/dsedu.2002.1010>
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A cognitive view*. Nueva York: Holt, Rinehart & Winston.
- Ausubel, D. P. (1976). *Psicología Educativa: un punto de vista cognoscitivo* (traducido al castellano por Helier). México: Trillas.
- Bunge, M. (1959). *Causality. The place of the causal principle in modern science*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press [traducido al castellano por H. Rodríguez, *Causalidad. El Principio Causal en la ciencia moderna*. Buenos Aires: Eudeba, 1961].
- Bunge, M. (1973). *Philosophy of physics*. Holanda, Dordrecht: Reidel [traducido al castellano por J. L. García, *Filosofía de la física*. Barcelona: Ariel, 1982].
- Bunge, M. (1977). *Ontology I: the furniture of the world. Treatise on Basic Philosophy*. (3, 1974-1989). Dordrecht, Países Bajos: Reidel Publishing.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques. Didactiques des mathématiques 1970-1990*. Grenoble, Francia: La Pensée Sauvage.

- Buty, Ch., Tiberghien, A. y Le Maréchal, J. F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *Int. J. Sci. Educ.*, 26(5), 579-604.
- Couso, D. (2011). Las secuencias didácticas en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias: modelos para su diseño y validación. En Aureli Caamaño (coord.), *Didáctica de la física y la química* (pp. 57-84). Barcelona, España: Graó/Ministerio de Educación.
- Cubero, R. (1994). Concepciones alternativas, preconceptos, errores conceptuales... ¿distinta terminología y un mismo significado? *Investigación en la Escuela*, (23), 33-42.
- Chevallard, Y. (1977). *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado* [traducido al castellano por C. Gilman]. Buenos Aires, Argentina: Aique Grupo editor.
- Chevallard, Y. (1985). *La Transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, Francia: La Pensée Sauvage.
- Driver, R y Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5(1), 61-84. DOI: 10.1080/03057267808559857
- Duit, R. (2006). La investigación sobre enseñanza de las ciencias. Un requisito imprescindible para mejorar la práctica educativa. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(30), 741-770.
- Duit, R. (2007). Science education research internationally: conceptions, research methods, domains of research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(1), 3-15.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M. y Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction: a framework for improving teaching and learning science. En Doris Jorde y Justin Dillon (eds.), *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective* (pp. 13-37). [S. l.]: Sense Publishers.
- Fraser, B. J., Tobin, K. G. y McRobbie C. J. (2012). *Second International Handbook of Science Education*. Londres: Springer. ISBN 978-1-4020-9040-0; e-ISBN 978-1-4020-9041-7; DOI: 10.1007/978-1-4020-9041-7.
- Giere, R. N. (1999a). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 9-13.
- Giere, R. N. (1999b). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 63-70.
- Giere, R. N. (1999c). Using models to represent reality. En L. Magnani, N. J. Nersessian y P. Thagard (eds.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 41-57). Nueva York: Kluwer/Plenum. Recuperado de <http://www.tc.umn.edu/~giere/R&Fpubs.html>.

- Giere, R. N. (2004). How Models are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science*, 71(5), 742-752.
- Gilbert, J. y Watts, M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10 (1983), 61-98. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1080/03057268308559905>
- Gunstone, R. (1989). A comment on the problem of terminology in the study of student conceptions in science. *Science Education*, 73 (6), 643-647.
- Gutiérrez, R. (2001). Mental models and the fine structure of conceptual change. En R. Pinto y S. Surinach (eds.), *Physics Teacher Education Beyond 2000* (pp. 35-44). París: Elsevier Editions.
- Gutiérrez, R. (2003). Conversation theory and self-learning. En D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselfes, E. Hatzikraniotis, G. Fassoulopoulos y M. Kallery (eds.), *Science education research in the knowledge-based society* (pp. 43-49). Dordrecht, Países Bajos: Kluwer Academic Publishers.
- Gutiérrez, R. (2007). Sistemas de Creencias, Modelos Mentales y Cambio Conceptual. *Indivisa. Boletín de Estudios e Investigación* (Monografía VIII), 573-585. ISSN: 1579-3141.
- Gutiérrez, R. (2017). Construcción del conocimiento espontáneo y del conocimiento científico I: ¿Existe Alguna Conexión? *Revista Enseñanza de las Ciencias*, (número extraordinario: X Congreso Internacional Sobre Investigación, Sevilla), 4331-4336. ISSN (Digital): 2174-6486.
- Gutiérrez, R. y Pintó, R. (2005). Teachers' conceptions of scientific model. Results from a preliminary study. En R. Pinto y D. Couso (eds.), *Proceedings of the Fifth International ESERA Conference on Contributions of Research to enhancing Students' Interest in Learning Science* (pp. 866-868). Barcelona, España. ISBN: 689-1129-1.
- Inhelder, B. y Piaget, J. (1972). *De la lógica del niño a la lógica del adolescente* (traducido al castellano por M. T. Cevasco). Buenos Aires: Paidós.
- INSP (2012). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. Resultados Nacionales 2012*. México: Instituto Nacional de Salud Pública. Recuperado de <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Izquierdo-Aymerich, M. (2007). Enseñar Ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, (6), 125-138. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=324127626010>
- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12, 27-43.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge, Massachussets: Harvard University Press.
- Juuti, K. y Lavonen, J. (2006). Design-based research in science education: one step towards methodology. *NorDiNa*, 2(2), 54-68.

- Kleer, J. de y Brown, J. S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. En D. Gentner, y A. L. Stevens (eds.), *Mental Models* (pp.155-190). Hillsdale, Nueva Jersey: LEA.
- Knuuttila, T. (2011). Modelling and representing: an artefactual approach to model-based representation. *Studies In History and Philosophy of Science* (Part A). Consultado por el autor el 21 de junio de 2018. DOI: [10.1016/j.shpsa.2010.11.034](https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2010.11.034)
- Kortland, K. y Klaassen, K. (eds.). (2010). *Designing theory-based teaching-learning sequences for science education: proceedings of the symposium in honour of Piet Linjse at the time of his retirement as professor of Physics Didactics at Utrecht University*. (FIsmE series on Research in Science Education, núm. 64). Utrecht: CDBeta Press/Freudenthal Institute for science and mathematics education (FIsmE)/Utrecht University. ISBN: 978-90-73346-70-3
- Küçüközer, A. (2001). Compréhension du concept d'interaction dans le cadre d'un enseignement de mécanique. Actes des deuxièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST, Carry-le-Rouet, October. *Skole. Cahiers de la recherche et du développement*, Hors Série (Marseille: IUFM d'Aix-Marseille), 81-89.
- Leach, J. y Scott, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: an approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38(1), 115-142.
- Linjse, P. (2010a). Didactics of science: The forgotten dimension in science education research? En Koos Kortland y Kees Klaassen (eds.), *Designing theory-based teaching-learning sequences for science education; proceedings of the symposium in honour of Piet Linjse at the time of his retirement as professor of Physics Didactics at Utrecht University* (125-142). Utrecht: CDBeta Press-Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education (FIsmE)-Utrecht University-FIsmE series on Research in Science Education.
- Linjse, P. (2010b). 'Developmental research' as a way to an empirically based 'didactical structure' of science. En Koos Kortland y Kees Klaassen (eds.), *Designing theory-based teaching-learning sequences for science education; proceedings of the symposium in honour of Piet Linjse at the time of his retirement as professor of Physics Didactics at Utrecht University* (91-102). Utrecht: CDBeta Press-Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education (FIsmE)-Utrecht University-FIsmE series on Research in Science Education.
- López y Mota, Á. D. (2003). Introducción. En Á. D. López y Mota, *Saberes científicos, humanísticos y tecnológicos* (Volumen 7, Tomo I). México: COMIE. ISBN: 968-7542-28-4.
- López y Mota, Á. D. (2006). Educación en ciencias naturales. Visión Actualizada del campo. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(30), 721-739.

- López y Mota, Á. D., López-Valentín, D., Rodríguez-Pineda, D. y Gutiérrez, R. (2015). Use of models in designing and validating TLS: an example from chemistry. En *Science education research: engaging learners for a sustainable future*. Helsinki, Finlandia: Proceedings of ESERA. ISBN 978-951-51-1541-6.
- López y Mota, Á. D. y Moreno-Arcuri, G. (2014). Sustentación teórica y descripción metodológica del proceso de obtención de criterios de diseño y validación para secuencias didácticas basadas en modelos: el caso del fenómeno de la fermentación. *Revista Bio-grafía*, 7(13), 109-126.
- López y Mota, Á. D. y Rodríguez-Pineda, D. P. (2013). Anclaje de los modelos y la modelización científica en estrategias didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, (número extra), 2008-2013.
- López y Mota Á. D. y Sanmartí N. (2011). ¿Desde dónde y con qué perspectiva enseñar ciencias? En Á. D. López y Mota y M. T. Guerra, *Las ciencias naturales en educación básica: formación de ciudadanía para el siglo XXI* (pp. 43-94). México: SEP.
- Méheut, M. y Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26 (5), 515-535.
- Moreno-Arcuri, G. y López y Mota, Á. D. (2013). Construcción de modelos en clase acerca del fenómeno de la fermentación con alumnos de educación secundaria. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 9(1), 53-78.
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. En P. Carruthers, S. Stich y M. Siegal (ed.), *The cognitive basis of science* (pp. 133-153) Cambridge: Cambridge University Press.
- Nersessian, N. J. (2008). Mental modeling in conceptual Change. En S. Vosniadou (ed.), *Handbook of conceptual change* (pp. 391-416). Nueva York: Routledge.
- OMS (2016). *Obesidad y sobrepeso*. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/>
- Pask, G. (1976). *Conversation Theory. Applications in education and epistemology*. Amsterdam: Elsevier.
- Piaget, J. (1978). *La representación del mundo en el niño*. Madrid: Morata.
- Pereda-García, S. y López y Mota, Á. D. (2016). Propuesta de modelización para abordar los fenómenos electrostáticos en alumnos de secundaria. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 10(3), 3301-3307.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Psillos, D. y Kariotoglou, P. (2016). Theoretical issues related to designing and developing teaching-learning sequences. En *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences. Introducing the Science of Materials in European Schools*

- (pp. 11-34). Dordrecht, Países Bajos: Springer. ISBN: 978-94-007-7808-5; DOI: 10.1007/978-94-007-7808-5
- Sadler, T. D. (2011). Situating Socio-scientific Issues in Classrooms as a means of achieving goals of science education. En T. Sadler (ed.), *Socio-scientific issues in the classroom. contemporary trends and issues in science education* (pp. 1-9). Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Secretaría de Educación Pública (2011a). *Programas de estudio 2011. Guía para el maestro. Educación básica. Secundaria. Ciencias*. México: SEP.
- Secretaría de Educación Pública (2011b). *Programas de Estudio Educación Básica Secundaria Ciencias*. México: SEP.
- Secretaría de Educación Pública (2017). *Aprendizajes clave para la educación integral. Ciencias y Tecnología. Educación secundaria. Plan y programas de estudio, orientaciones didácticas y sugerencias de evaluación*. México: SEP.
- Tamayo, Ó. E. (2009). *Didáctica de las Ciencias: la evolución conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias*. Manizales, Colombia: Universidad de Caldas.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-221.
- Virii, J y Savinainen, A. (2008). Teaching-learning sequences: A comparison of learning demand analysis and educational reconstruction. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* 2(2), 80-86.
- Vosniadou, S. (2012). Reframing the classical approach to conceptual change: Preconceptions, misconceptions and synthetic models. En B. J. Fraser, K. G. Tobin y C. J. McRobbie (eds.), *Second International Handbook of Science Education*. Londres: Springer. ISBN 978-1-4020-9040-0; e-ISBN 978-1-4020-9041-7; DOI: 10.1007/978-1-4020-9041-7.