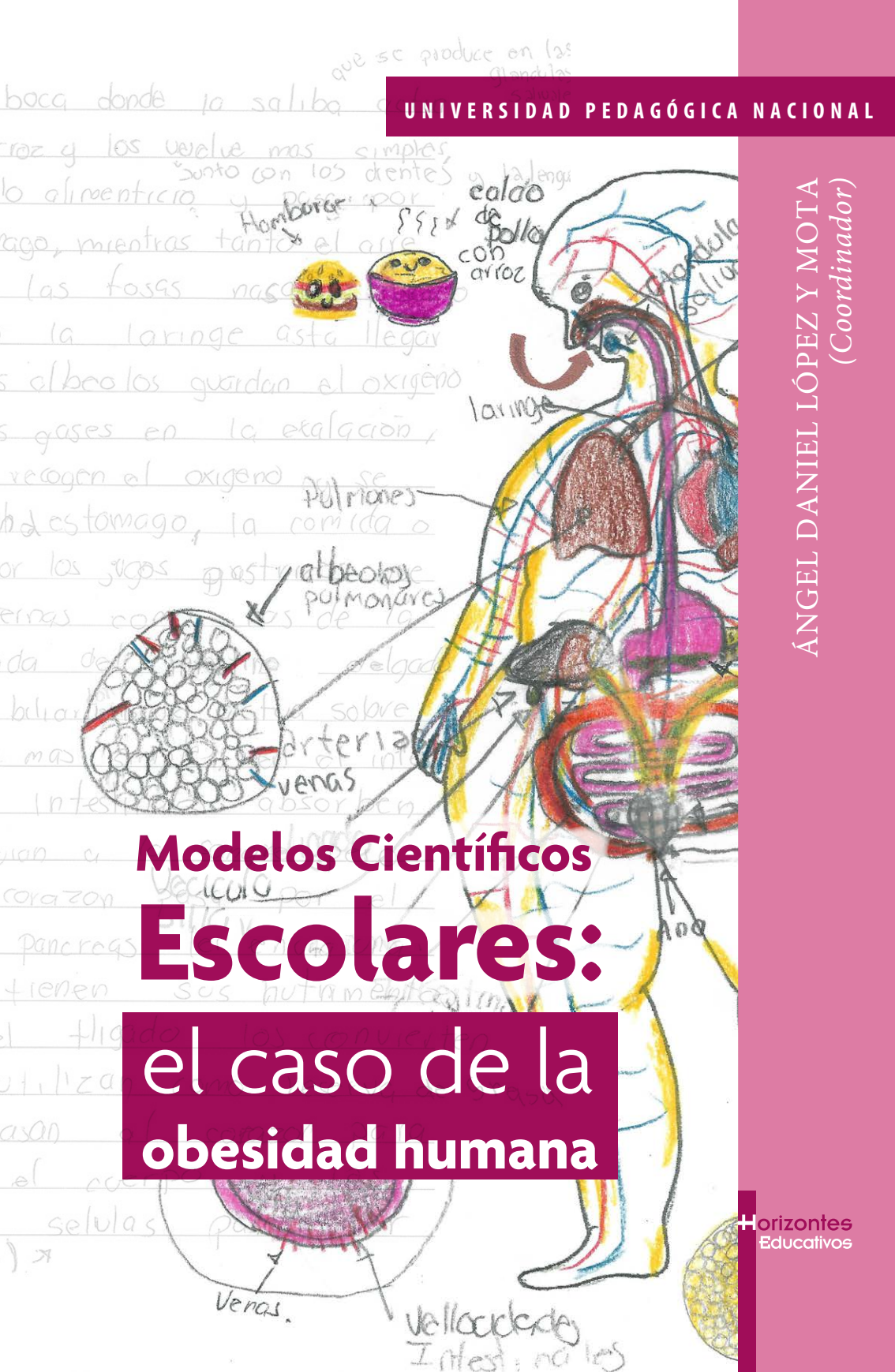


Modelos Científicos Escolares: el caso de la obesidad humana



La primera parte del título –‘modelos científicos escolares’– puede causar extrañeza. En cambio, la segunda–‘el caso de la obesidad humana’–, a todos queda claro su significado. Y éste adquiere, particular importancia dados los altos índices de obesidad que presentan la población infantil y juvenil en México.

Pero, ¿qué tienen que ver los modelos científicos con el ámbito escolar? ¿No es uno el ámbito de la ciencia y otro el de lo escolar? Y en el caso particular de la obesidad humana ¿No es ello cuestión de expertos nutriólogos, médicos y químicos? No. Los actuales planteamientos epistemológicos de la ciencia como un proceso cognitivo y los avances de la ciencia cognitiva, han borrado esa demarcación tajante entre ciencia y ciencia-escolar. Es una cuestión de gradualidad. Así, el planteamiento de los ‘modelos científicos escolares’; pues en la escuela se hace ‘ciencia escolar’.

Este libro responde a tres necesidades: proporcionar un enfoque que contribuya a la prevención de problemas de salud pública; transformar la visión tradicional de las prácticas de enseñanza de la ciencia –expositiva y memorística– para contribuir a un aprender mediante la elaboración de explicaciones sobre fenómenos científicos y; cambiar el significado de “contenido” de la enseñanza, concebido como tema o concepto. Y definir al ‘contenido de la enseñanza’ como la enseñanza de ‘fenómenos científicos con valor educativo’ y adaptar un enfoque basado en problemas.

Modelos científicos escolares: el caso de la obesidad humana

Ángel Daniel López y Mota
Coordinador

Modelos científicos escolares: el caso de la obesidad humana

Ángel Daniel López y Mota

Coordinador

Primera edición, septiembre de 2019

© Derechos reservados por la Universidad Pedagógica Nacional

Esta edición es propiedad de la Universidad Pedagógica Nacional, Carretera al Ajusco

núm. 24, col. Héroes de Padierna, Tlalpan, CP 14200, Ciudad de México

www.upn.mx

Esta obra fue dictaminada por pares académicos.

ISBN 978-607-413-318-9

RC628

M6.3

Modelos científicos escolares : el caso de la obesidad humana /
coord. Ángel Daniel López y Mota. – México : UPN, 2019.

1 texto electrónico (402 p) : 15.4 Mb. ; archivo PDF –
(Horizontes educativos)

ISBN 978-607-413-318-9

1. Obesidad 2. Ciencia. Estudio y enseñanza

2. Ciencia – Modelos matemáticos I. López y Mota, Ángel
Daniel, coord., II. Ser.

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra, por cualquier medio,
sin la autorización expresa de la Universidad Pedagógica Nacional.

Hecho en México.

ÍNDICE

Introducción.....9

CAPÍTULO 1

Secuencias didácticas y el contenido de enseñanza

Ángel Daniel López y Mota..... 15

CAPÍTULO 2

Perspectiva epistemológica en el diseño de secuencias didácticas mediante modelos

Liliana Valladares Riveroll.....73

CAPÍTULO 3

Modelos y modelización en la didáctica de las ciencias

Ana Milena López Rúa

Óscar Eugenio Tamayo Alzate..... 113

CAPÍTULO 4

El fenómeno de la obesidad humana y su abordaje educativo: un reto para la didáctica de las ciencias

Tathali Urueta Ortiz..... 161

CAPÍTULO 5

**El fenómeno de la obesidad humana desde la perspectiva
de la ciencias biológicas y la influencia de la cultura**

Mary Orrego Cardozo

Óscar Eugenio Tamayo Alzate..... 181

CAPÍTULO 6

**Diseño de una secuencia didáctica para el caso
de la obesidad humana**

Luissa Marlen Galvis Solano

Fanny Angulo Delgado..... 257

CAPÍTULO 7

**Resultados de secuencia didáctica para el caso
de la obesidad humana**

María Mercedes López Gordillo

y Ángel Daniel López y Mota 297

Semblanza de los autores 395

The word model is used as a noun, adjective and verb, and in each instance it has a slightly different connotation. As a noun “model” is a representation in the sense in which an architect constructs a small-scale model of a building or a physicist a large-scale model of an atom. As an adjective “model” implies a degree of perfection or idealization, as in reference to a model home, a model student, or a model husband. As a verb “to model” means to demonstrate, to reveal, to show what a thing is like.

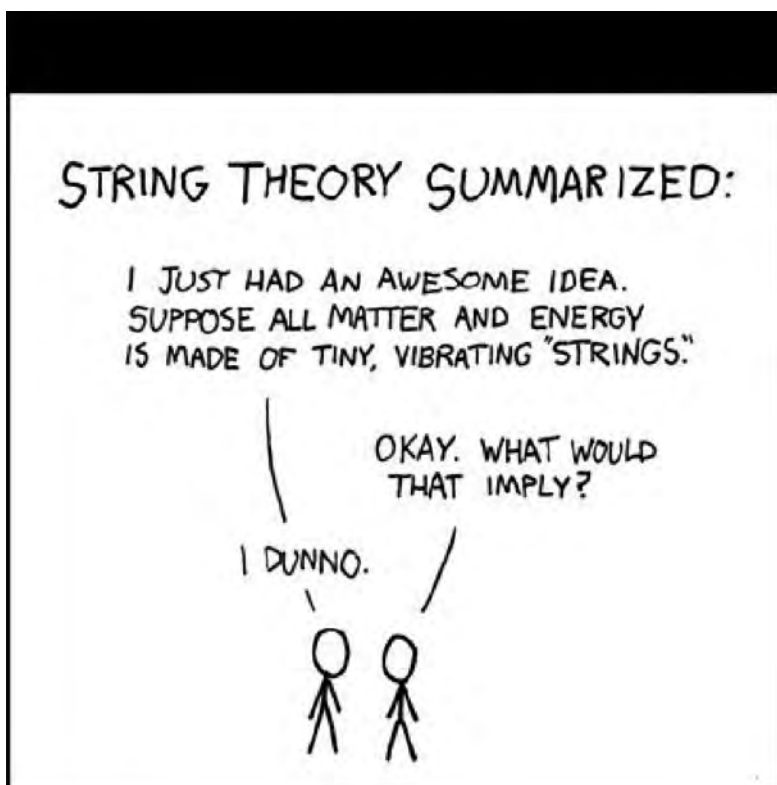
Russell L. Ackoff

Agradezco a la doctora Rufina Gutiérrez Gonçet su disposición para revisar y discutir las principales ideas sobre la conceptualización de este texto.

INTRODUCCIÓN

El título de este libro pudiera parecer muy lejano a los profesores de ciencias naturales y otros profesionales de la educación. Como referencia está el gráfico acerca de la concepción del ‘modelo de cuerdas’ para explicar la realidad física del universo: ¿qué tiene que ver la teoría de cuerdas con la obesidad humana? La respuesta es que ambos asuntos involucran *modelos* que pueden explicar la realidad en consideración, ya sea un fenómeno físico, biológico o químico. Pues, así como la materia y la energía pueden considerarse como ‘pequeñas cuerdas vibrantes’ que, formalizadas matemáticamente, pueden dar cuenta del comportamiento del mundo físico; también es posible concebir *modelos* para explicar la *obesidad humana* y casi cualquier otro fenómeno natural.

Pero ¿qué tienen que ver los modelos científicos que elaboran investigadores, académicos, profesionales de las ciencias y las tecnologías, con los modelos científicos escolares que los estudiantes y profesores esbozan en el aula? Mucho, ya que cumplen una función epistémica y son esencialmente lo mismo desde el punto de vista cognitivo; su diferencia es sólo una cuestión de coherencia, correspondencia y robustez de los modelos planteados, tanto por científicos como por escolares en etapas de formación.



<https://i.pinimg.com/originals/a4/39/a4a439a45668a7d615f73deb9a31e2d.jpg>

La extrañeza entre un público poco familiarizado con el tema de los modelos científicos puede presentarse, en primer lugar, al preguntarse ¿qué tienen que ver los modelos científicos en el ámbito educativo? Pues pudieran responder, eso es cosa de quienes se dedican profesionalmente a hacer ciencia en biología, física o química. O también pudieran formularse otras preguntas: ¿modelos científicos escolares?, ¿qué no existe una diferenciación tajante entre los ámbitos científicos y escolares? Nosotros sostenemos que no es así, que es cuestión de gradualidad y transformación, no de inconmensurabilidad entre dichos mundos.

Tres razones me motivaron a escribir este libro y a fungir como su editor. Primera, la relevancia de realizar un planteamiento desde

la didáctica de las ciencias, que contribuya a la prevención de un problema sociocientífico que aqueja a la sociedad mexicana, como lo es la obesidad en niños y jóvenes, y del que la enseñanza de las ciencias no se puede desentender. Segunda, hacerlo de una forma que contribuya a la tan deseada intención de aprender significativamente mediante la comprensión, es decir construyendo conocimientos –no sólo memorizando–, a partir de la idea de ejercitar a los estudiantes desde temprana edad en la construcción de modelos científicos escolares –a semejanza de lo que hacen los científicos profesionales–, que les permitan explicarse racionalmente un fenómeno natural de gran trascendencia por sus consecuencias sociales en la salud. Tercera, introducir la idea de que los contenidos de enseñanza curriculares pueden estar centrados en la explicación de fenómenos naturales complejos y multidimensionales –como el de la obesidad humana– y no necesariamente en el tratamiento sistemático de temas y conceptos científicos aislados y descontextualizados.

Este libro es fruto de una cooperación estrecha entre didactas de la ciencia y de quienes –si bien no se dedican completamente a este campo del conocimiento– entre sus principales intereses intelectuales está la educación; lo cual nos brinda una visión desde distintas disciplinas científicas, en beneficio del mencionado campo. En adición, la cooperación mencionada involucra a académicos de México y Colombia, lo que expresa la comunidad de intereses y voluntades latinoamericanas dentro de este campo del conocimiento.

Este libro está estructurado, por un lado, mediante el abordaje de una *dimensión científica-metodológica* correspondiente al campo educativo de la didáctica de las ciencias y, por otro, mediante el tratamiento de una *dimensión metacientífica* relativa a disciplinas que sirven de inspiración a éste. Por ello, para la elaboración de los textos relativos a la segunda dimensión se requirió de la colaboración de especialistas en epistemología y ciencias cognitivas. Asimismo, para la preparación de los contenidos de la primera fue necesaria la participación de didactas de las ciencias en ejercicio.

Los capítulos correspondientes a la dimensión científica-metodológica son los capítulos 1, 4, 5, 6 y 7. Aquellos que tienen que ver con aspectos metacientíficos, son los capítulos 2 y 3. Si bien el capítulo 5 –que presenta los modelos científicos que pueden explicar el fenómeno natural de la obesidad humana– pudiera formar parte de la dimensión metacientífica, sin embargo, la comprensión de los fenómenos y conceptos de la biología –pudiera ser también de la física o la química– forma parte esencial de los conocimientos inherentes al campo de la didáctica de las ciencias.

De esta manera, los capítulos agrupados en la *dimensión científica-metodológica*, se describen brevemente:

Capítulo 1: se refiere a la constitución de un ámbito de investigación y desarrollo (I + D) como es el del ‘diseño y validación de secuencias didácticas’, a la identificación de las dimensiones científico-metodológica y metacientífica dentro de este ámbito y a la visualización de tales dimensiones en la perspectiva de los modelos y la modelización para las secuencias didácticas.

Capítulo 4: resalta la problematización de lo que se considera contenido de enseñanza en la educación en ciencias, partiendo de la explicación de los fenómenos naturales y no de la consideración de las temáticas y los conceptos científicos como base de la ciencia a ser enseñada.

Capítulo 5: destaca la presentación de los modelos científicos que explican el fenómeno de la obesidad humana desde un punto de vista multifactorial: bioquímico, energético, nutricional, genético, considerando también lo cultural.

Capítulo 6: realza un procedimiento metodológico –postulación del Modelo Científico Escolar de Arriba–, el cual sirve como generador de criterios de diseño y validación de secuencias didácticas, utilizando como ejemplo la explicación de la obesidad humana a partir de estudiantes de educación secundaria en México.

Capítulo 7: ofrece resultados de la investigación empírica respecto de los logros del Modelo Científico Escolar de Arriba en estudiantes de educación primaria en nuestro país, destacando la

manera en que se construyeron los datos hasta convertirse en información.

Aquellos agrupados en la *dimensión metacientífica* se sintetizan a continuación:

Capítulo 2: destaca la presentación de diversas corrientes epistemológicas –fundamentalmente posiciones semanticistas– en la conceptualización de la naturaleza, los propósitos y el papel de los modelos científicos en el desarrollo de la ciencia.

Capítulo 3: subraya las dos fuentes de inspiración metacientífica para el desarrollo del campo de la didáctica de las ciencias –la epistemología y las ciencias cognitivas– con una referencia a su uso e impacto en el campo de la didáctica de las ciencias, al discutir conceptos de utilidad para éste.

Debido a su naturaleza, este libro está dirigido a una variedad de profesionales: profesores en ejercicio y formación de ciencias naturales de todos los niveles educativos, investigadores y estudiantes de posgrado en didáctica de las ciencias experimentales, así como biólogos, nutriólogos, pedagogos, psicólogos educativos y educadores en general.

Con el propósito de ofrecer elementos de reflexión y conocimientos a la variedad del público lector, a continuación ofrecemos distintas rutas de lectura, de acuerdo con algunos de los perfiles profesionales señalados.

De esta manera, este libro puede ser leído empezando por ciertos capítulos y en diferentes secuencias. A los profesores, les sugerimos iniciar con el capítulo 1 y seguir con los capítulos 6 y 7, para proseguir con algún otro de su elección. Los investigadores y quienes se forman en el ámbito de la didáctica de las ciencias, probablemente deseen revisar un amplio espectro de capítulos; empezando por los capítulos señalados y continuando con los capítulos 2 y 3 si quieren ahondar en asuntos metacientíficos de la didáctica. Los biólogos y nutriólogos pueden empezar con el capítulo 5 y después desplazarse a los capítulos 6 y 7. Los pedagogos y psicólogos educativos pueden iniciar con el capítulo 4 y después transitar por los capítulos 1, 6 y 7.

Invitamos a leer, analizar y discutir el libro desde las vertientes que presenta, en beneficio del conocimiento y para atender a las necesidades sociales, educativas y de comprensión de niños y jóvenes.

Ángel Daniel López y Mota

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

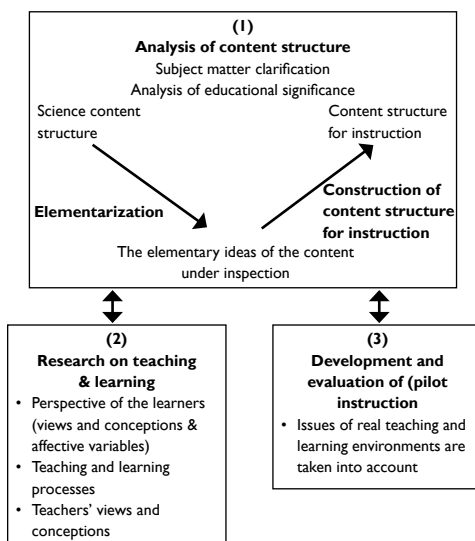
² Si bien habría que agregar un tercer término, el profesor, que permitiría constituir el triángulo didáctico de Chevallard. Pero, como se verá más adelante, dicho triángulo se transformará en un rombo.

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 ‘desdoblado’ 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,

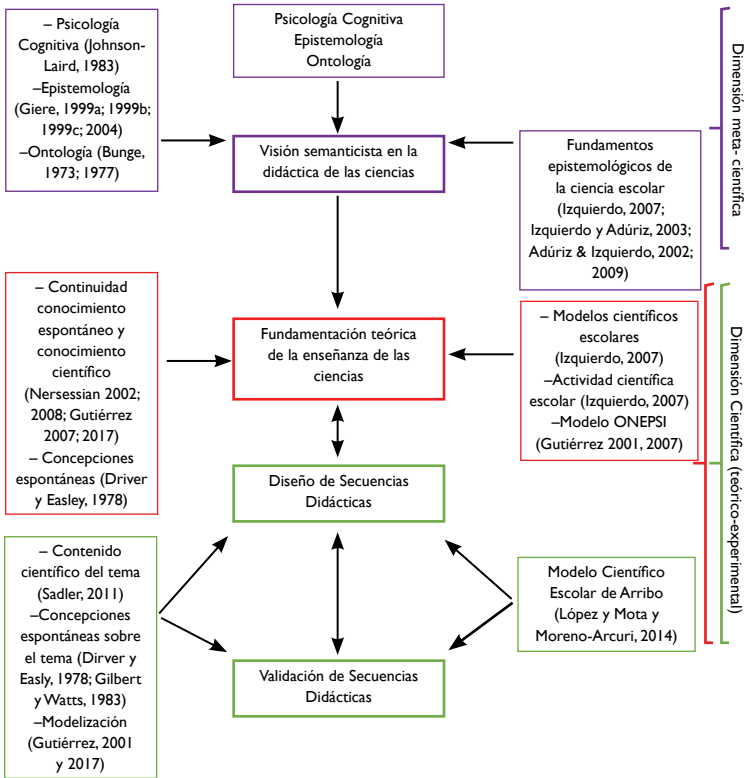
mediante la utilización de una definición de modelo que da cobertura pertinente tanto en el ámbito científico-disciplinar como en el cognitivo, lo que se mostrará más adelante. El MCEA es un concepto que permite diseñar SD bajo la perspectiva del modelo que se quiere alcanzar en clase mediante una SD, 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 contruidos 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.

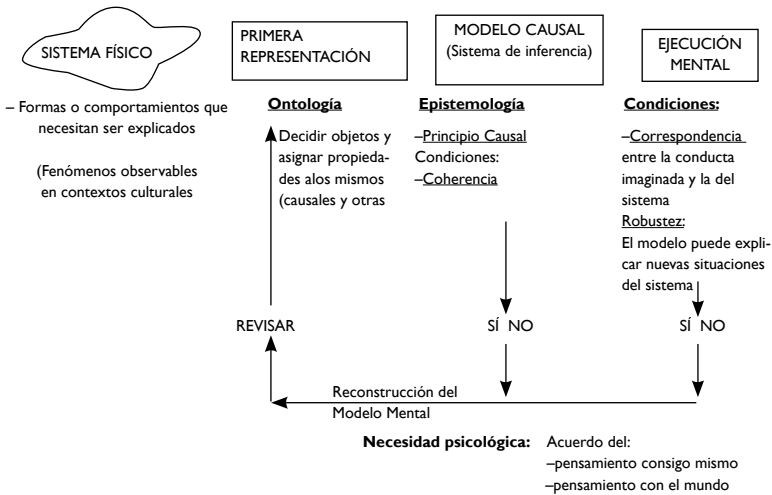
En la figura 3 se ofrece una representación gráfica del modelo Onepsi, en la cual pueden observarse la dinámica de construcción y reconstrucción de los modelos mentales:

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*.

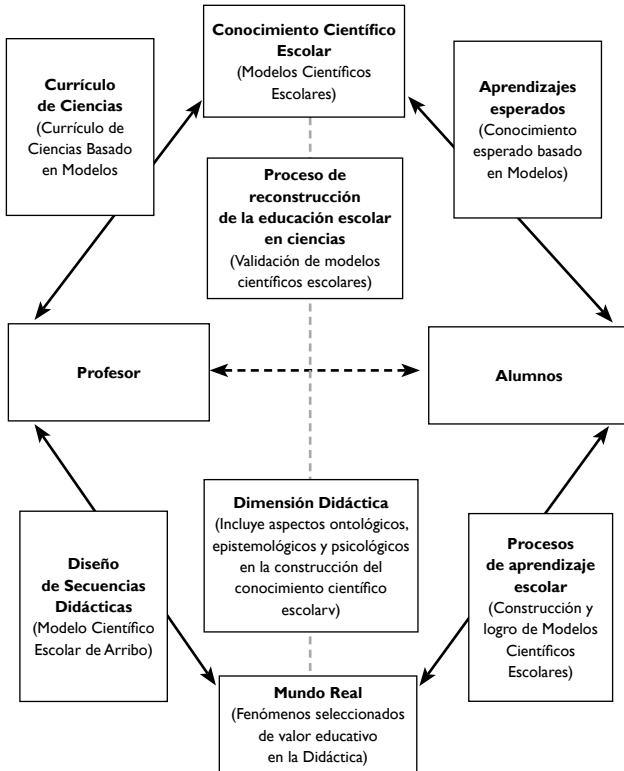
La Secretaría de Educación Pública (SEP), para el 2011, estableció como ‘aprendizaje esperado’: “[El alumno] Explica el proceso general de la transformación y aprovechamiento de los alimentos, en términos del funcionamiento integral del cuerpo humano” (SEP, 2011a, p. 43). Y para el 2017: “[El alumno] 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.

CAPÍTULO 2

PERSPECTIVA EPISTEMOLÓGICA EN EL DISEÑO DE SECUENCIAS DIDÁCTICAS MEDIANTE MODELOS

*Liliana Valladares Riveroll**

INTRODUCCIÓN: REPRESENTACIONES, MODELOS Y PRÁCTICAS CIENTÍFICAS

Ante los problemas actuales de la sociedad mexicana, en el marco de la salud pública, del medio ambiente y el cambio climático, del desarrollo de nuevas formas económicas y de producción de energías limpias, de aplicaciones de la informática, la robótica y la electrónica en distintos ámbitos de la gestión pública y la seguridad ciudadana, la ciencia y la tecnología son, como lo han sido a lo largo de la historia, elementos estratégicos para brindar posibles respuestas y soluciones a necesidades y problemas basados en el conocimiento.

La creciente relevancia social de la ciencia y la tecnología ha permitido que la pregunta filosófica por la ciencia se muestre todavía vigente y, aún más, que esta pregunta se acompañe de una preocupación social genuina por la necesidad de formar a los nuevos

* Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, <lvalldares@comunidad.unam.mx>

científicos y tecnólogos que podrán hacer frente a los problemas y necesidades de las sociedades.

Los avances en filosofía de la ciencia han delineado una caracterización de lo que es la ciencia que, en las últimas décadas, nos ha permitido entenderla cada vez más como un conjunto de prácticas altamente complejas, tanto representacionales como artefactuales.

Las prácticas científicas, en su carácter de ciencia, se despliegan en contextos socioepistémicos de investigación, pero también en contextos de educación, comunicación y evaluación de la ciencia. En todos ellos intervienen siempre diferentes tipos de representaciones.

De acuerdo con Olivé (2007, p. 143), las prácticas de los científicos incluyen no sólo la generación, distribución, aprovechamiento y evaluación de conocimientos, sino también, el diseño y realización de programas y proyectos de investigación, el desarrollo de controversias en la ciencia y sobre ésta, el diseño de instituciones científicas, de planes de estudio, las concepciones acerca de la cultura científica y la divulgación de la ciencia, la construcción de indicadores sobre ciencia y sobre percepción pública de la ciencia, la evaluación de proyectos y de sus resultados, así como el diseño de políticas científicas, entre muchas otras. Y se podrían incluir las prácticas científicas –menos reconocidas– de los didactas de la ciencia, quienes investigan cómo enseñar y apropiarse de los conocimientos científicos; para lo cual recurren al estudio de representaciones y prácticas artefactuales estudiantiles para la explicación de fenómenos naturales.

La práctica científica es, en términos muy generales, una actividad productora de representaciones, esto es, un conjunto de actividades de naturaleza esencialmente simbólica, puesto que, como señalan Ibarra y Mormann (1997), inspirados en el pragmatismo de Charles Peirce (1839-1914), no podemos pensar sin signos.

Como señala Gelfert (2016), los seres humanos, mediante evolución biológica y cultural hemos desarrollado maneras más o menos elaboradas para representar el mundo: vía representaciones mentales, lenguajes, modelos, creación de artefactos en arte, tecnología y

ciencia. La representación puede concebirse como un término que engloba estas variadas expresiones simbólicas de actividades y relaciones humanas.

Las representaciones son elementos constitutivos del quehacer de la ciencia; son parte fundamental de las prácticas científicas y, como se verá en el presente texto, lo son también de la enseñanza de la ciencia y de su estudio a partir de la didáctica de la ciencia. Intervienen en los procesos de generación de conocimiento y son también los productos de la investigación científica; conforman el medio, los objetos, los procesos y las relaciones que representan los científicos. Además, a partir de ellas (y mediante ellas) se despliegan las actividades de la ciencia.

Los modelos científicos forman parte de las representaciones en la ciencia, no obstante, las representaciones utilizadas por ella no son solamente los modelos.

De acuerdo con Knuuttila (2005), la palabra “representación” deriva del latín *raepresentare* que significa “hacer presente o manifestar o presentar otra vez”. Aunque en principio se trató de un concepto aplicado a objetos inanimados, después del siglo XIV se desarrolló la idea política de la representación (política) entre y por seres humanos.

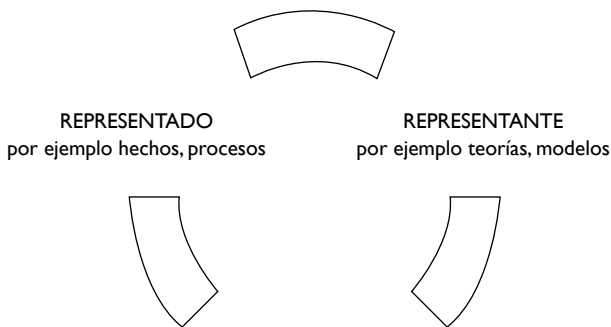
Prendergast (2000) (citado en Knuuttila, 2005, pp. 21-22) discrimina entre dos sentidos de la representación: la re-presentación (*re-presentation*) y la representación (*standing for*). La relación re-presentativa de este último sentido, a diferencia de la re-presentación como ilusión de presencia, es la sustitución de algo que está ausente por algo que está presente.

Para Olivé (2007, p. 146), una representación *no* puede entenderse como una imagen especular del mundo, sino como un modelo del mundo:

...a la manera de un mapa, pero un mapa que no es independiente de su usuario y de las acciones para las cuales el mapa le es útil. Todas las teorías científicas son modelos del mundo que pueden ser mejores o peores como guías de las acciones de los científicos y de otros grupos humanos.

Como muestra la figura 1, la representación se entiende hoy como una triple relación entre: 1) agentes epistémicos –productores de conocimiento–; 2) lo representado –el mundo–, y 3) el representante. Los modelos científicos son, en esta relación, representantes de los hechos, los procesos, los sistemas empíricos y los fenómenos en el mundo.

Figura 1. La representación científica como una relación triádica



Fuente: Olivé, 2007, p. 147.

Cada vértice en una triada representacional depende de los otros dos componentes de la representación. Al seguir a Olivé, tanto el representado como el representante dependen de los agentes que los producen, pero también la identidad de los agentes epistémicos, depende tanto del mundo en el que viven (hechos, procesos, objetos, *i.e.* lo representado), como de los representantes que ellos producen (sus teorías, modelos, mitos, creencias religiosas, obras de arte). A su vez, los representantes son producidos y, por consiguiente, dependen de los agentes, pero también reciben restricciones del medio, o sea, de lo representado.

A pesar de su enorme importancia, no siempre fue reconocido el papel de los agentes en la relación de tres partes de una representación. En su sentido más clásico, la representación científica se pensó por mucho tiempo como una relación directa entre lo representado

–el mundo– y el representante –las teorías y modelos–. Hoy se asume que los agentes epistémicos –seres humanos, comúnmente– usan representantes –modelos y teorías científicas– para alcanzar los diferentes fines y propósitos que se plantean, y sus acciones siempre se despliegan en el marco de las representaciones que, como agentes, van construyendo acerca del mundo.

En función de cómo se entiende la relación tripartita de una representación, en la filosofía de las ciencias de los siglos XX y XXI se han desarrollado diversas aproximaciones filosóficas que buscan comprender y caracterizar lo que son los modelos científicos, en su carácter de representaciones del mundo.

PRINCIPALES APROXIMACIONES FILOSÓFICAS A LOS MODELOS CIENTÍFICOS

Como lo expone Pérez-Ransánz (1999, p. 21), hasta los años cincuenta, la filosofía de la ciencia de la tradición anglosajona se desarrollaba sobre el supuesto de que la ciencia, en tanto actividad preponderante propia de la modernidad, se distinguía como un camino intelectual diferenciado por constituir un modo privilegiado de conocer el mundo y transformarlo.

La “filosofía clásica de la ciencia” desarrolló una concepción de la ciencia en la que se pensaba que: 1) había un criterio general de demarcación que permite identificar lo que cuenta como ciencia; 2) es posible distinguir con nitidez a la teoría de la observación (es decir, la base observacional se consideraba neutra); 3) las teorías científicas tienen una estructura deductiva bastante rígida y progresan de forma acumulativa y lineal; d) los términos científicos son definibles de manera precisa; 4) todas las ciencias empíricas, naturales o sociales deben emplear básicamente el mismo método, y 5) hay una distinción entre el contexto de justificación y el de descubrimiento, y sólo el primero da cuenta del conocimiento científico.

A partir de los años sesenta, y derivado sobre todo de la atención puesta a la dinámica sociohistórica del desarrollo del conocimiento científico, la llamada “nueva filosofía de la ciencia” configuró una concepción de la ciencia que contrastaba con los posicionamientos filosóficos clásicos en tanto que en esta perspectiva (Martínez y Huang, 2015, pp. 75-76): 1) la observación científica, no es neutra, sino que se supone que está influida por consideraciones prácticas y por las habilidades de un observador; 2) los conocimientos anteriores, que los científicos toman como punto confiable de partida, no son acumulativos y son modificados por el contexto sociomaterial y cultural, por el contexto educativo y otro tipo de contextos propios del ámbito en el cual se despliegan esas habilidades; 3) el lenguaje de las teorías científicas puede ser preciso, pero eso contribuye sólo parcialmente al entendimiento que los científicos tienen del mundo; 4) el significado de lo que dice un científico está determinado parcialmente por las prácticas en las que está involucrado; 5) los científicos normalmente no utilizan un solo método de investigación y no ponen a prueba las teorías, sino que las usan para encontrar nuevos fenómenos y refinar estas teorías; 6) el descubrimiento y la justificación no son actividades separadas, sino diferentes aspectos de la actividad de investigar.

Con las nuevas corrientes filosóficas de la ciencia, fue volviéndose claro que para la comprensión de cualquier actividad generadora de conocimiento científico, no bastaba con el análisis sintáctico y la reconstrucción lógica de las teorías, sino que también, para entender cómo se genera el conocimiento científico y si es racional la aceptación de una hipótesis, se debería tomar en cuenta que la ciencia se hace siempre desde una perspectiva determinada. La ciencia se hace desde una cierta forma de ver e interactuar con el mundo en la que los científicos, en tanto agentes epistémicos, asumen una serie de compromisos teórico-metodológicos dependientes de la historia y la cultura, en un espacio-tiempo determinados.

Como parte de esta dinámica de cambio en los estudios filosóficos de la ciencia, también ha ido transformándose la manera de

comprender lo que son los modelos y las teorías de la ciencia; los orígenes heterogéneos de la discusión sobre los modelos, explican las distintas aproximaciones filosóficas para entenderlos.

Así, desde el ámbito de la didáctica de la ciencia y no estrictamente desde la filosofía de la ciencia, Adúriz-Bravo (2013, pp. 1599-1600) destaca tres grandes conceptualizaciones de los modelos en la filosofía de la ciencia que han jugado algún papel relevante en el ámbito de investigación de esta disciplina científica:

1. Aquella conceptualización derivada de la filosofía clásica de la ciencia (desarrollada entre 1920-1960), en la que un modelo científico era entendido como cualquier ejemplo o instancia de una teoría; en tanto que la teoría era considerada la unidad central de análisis epistemológico. En esta visión, las teorías tienen prioridad lógica sobre los modelos (considerados así, entidades derivadas, subordinadas jerárquicamente).
2. Aquella derivada de la nueva filosofía de la ciencia (que se remonta a las décadas 1950-1980), en la que un modelo se comprende como un ejemplo paradigmático de una teoría (una instancia digna de imitación).
3. Aquella derivada de una concepción semántica de las teorías científicas (elaborada entre 1970-2010), en la que un modelo se identificó con un ejemplo deseado de una teoría (un ejemplo que la teoría busca explicar).

En este esquema de aproximaciones teóricas a los modelos, Adúriz-Bravo resalta esta última visión semántica de los modelos como la más prometedora del conjunto, dada su potencialidad para enriquecer los procesos de investigación e innovación en la didáctica de las ciencias. No obstante, a estas conceptualizaciones de los modelos, habría que agregar una cuarta aproximación desarrollada por Knuuttila (2005) que, aunque no deja de ser semántica, recupera y hace énfasis en la perspectiva de la práctica científica:

4. Aquella derivada de los estudios sociales sobre la ciencia y la tecnología, en la que un modelo es considerado una entidad material interventiva, y no sólo representacional.

¿Cómo se han conceptualizado los modelos en cada una de estas visiones? ¿Qué son, entonces, los modelos científicos? ¿Qué distingue a los modelos en la biología? Sobre todo, tomando en cuenta que este libro se refiere a modelos y modelización en el ámbito de la obesidad humana.

Para Odenbaugh (2009), los modelos y la modelización tienen un papel ubicuo en la actividad científica, pero muy particularmente en las ciencias biológicas. En el campo de la biología, al hablar de modelos se hace referencia lo mismo a estructuras matemáticas que a diseños gráficos, simulaciones por computadora u organismos concretos.

Desde la perspectiva semántica, las teorías biológicas pueden entenderse como un conjunto o familia de modelos que tradicionalmente se evalúan por su ajuste estadístico a los datos empíricos o por su poder explicativo o predictivo. Sin embargo, Odenbaugh también resalta que los modelos biológicos son, con frecuencia, altamente idealizados, lo cual puede afectar su adecuación empírica o su valor explicativo. Esto ha dado como resultado que los modelos en biología sean, por lo común, más valorados por sus funciones heurísticas que por su adecuación empírica o relación con una verdad acerca del mundo natural.

Los biólogos usan con frecuencia el término “modelo” de diferentes maneras, la más común quizá sea como representaciones idealizadas de sistemas empíricos. También como modelos se hace referencia a organismos u objetos físicos que son útiles para el estudio de ciertos comportamientos biológicos. Así, por ejemplo, se habla del modelo de *Drosophila melanogaster* (mosca de la fruta), o de *Escherichia coli*, o del modelo físico de la doble hélice de DNA.

¿Qué características comparten estos ejemplos como modelos? ¿Qué atributos los hace considerarlos como modelos científicos?

¿Cómo cambian los modelos entre una y otra aproximación filosófica sobre la ciencia?

A continuación, se describe cómo en distintas aproximaciones filosóficas de la ciencia, prevalece una determinada concepción de la naturaleza y estructura de las teorías científicas, respectivamente. A partir de cómo se entienden las teorías, se establecen también diferentes maneras de comprender los modelos. En la visión sintáctica, por ejemplo, predomina una concepción axiomática de las teorías, que las considera como sistemas axiomáticos empíricamente interpretados; por su parte, en la visión semántica, las teorías se consideran como entidades modelo-teóricas, mientras que, en la postura historicista, las teorías son consideradas como ejemplos dentro de paradigmas y proyectos de investigación.

Las dos concepciones más comunes acerca de los modelos científicos son la visión sintáctica y la visión semántica de los modelos, puesto que la visión historicista los subsumió en ejemplares¹ dentro de los paradigmas kuhnianos. A pesar de los interesantes alcances teóricos de la concepción semántica en sus primeras versiones, en la actualidad es la concepción artefactual de los modelos la que está alcanzando una mayor relevancia, al tratarse de una vía que, aunque sigue caracterizándose como semántica, añade un elemento adicional al pretender la superación de la mirada meramente representacionista de la ciencia, enfatizando su carácter intervencionista y material. Así lo indica, por ejemplo, Cassini (2018, p. 14) al señalar que Tarja Knuuttila propone considerar a “los modelos como artefactos epistémicos susceptibles de desempeñar una pluralidad de funciones, entre las cuales la de representar los fenómenos podría ser sólo una más”.

Dada su relevancia para el campo de la enseñanza de las ciencias, específicamente como puntos de partida para el desarrollo de

¹ Analogías que determinan qué puede ser aceptado como solución a un problema o anomalía; aplicaciones empíricas específicas del aparato formal que sirven de modelo o guía para el trabajo de resolución de rompecabezas (Moulines y Díez, 1997, pp. 315-316).

secuencias didácticas, a continuación, se abordarán únicamente las aproximaciones sintáctica, semántica y artefactual como formas de comprensión de los modelos que se han recuperado con mayor fuerza en la literatura del ámbito educativo y que han mostrado ser útiles como fundamento para el quehacer en la didáctica de las ciencias.

CONCEPCIÓN SINTÁCTICA DE LOS MODELOS CIENTÍFICOS

La visión sintáctica de los modelos fue dominante entre 1920-1960 y emergió entre el positivismo y el empirismo lógico.

Díez-Calzada (1997) ubica esta aproximación como parte de la llamada “concepción heredada” de la ciencia, representada por filósofos clásicos, como Carnap, Reichenbach, Popper, Hempel, Nagel, entre otros.

En esta aproximación, un modelo se diseña para interpretar un formalismo no interpretado² o un cálculo. Así, por ejemplo, “un modelo es una interpretación de un cálculo abstracto que da ‘carne’ a la estructura esquelética de una teoría, en términos, materiales, conceptuales o visualizables más o menos familiares” (Nagel, 1961, citado en Knuuttila, 2005, p. 37).³

Si una teoría científica, en esta visión, se considera como un formalismo no interpretado o parcialmente interpretado (esto es, un cálculo axiomático parcial y/o empíricamente interpretado), cuya estructura sintáctica es un juego de axiomas, la interpretación de la teoría implica especificar un modelo para ella, el cual hace de todos los axiomas de la teoría, verdaderos o falsos (Moulines y Díez, 1997).

En tal sentido, un modelo para una teoría *T* podría ser definido como un juego de proposiciones verdaderas con la misma

² Es decir, una expresión o cálculo sin referencia inmediata a algún aspecto material, empírico o aplicativo.

³ Las comillas son del autor.

estructura formal o cálculo que *T*. La articulación de esta noción supone, como destacan Moulines y Díez, la distinción entre vocabulario teórico y observacional y la asunción de que toda diferencia en axiomas supone una diferencia de teorías, consecuencias ambas insatisfactorias, si se sostiene esta visión (Moulines y Díez, 1997).

Como sintetiza Díez-Calzada (1997), el calificativo de sintáctica que se ha dado a esta visión viene de la caracterización de las teorías como conjuntos de enunciados, y por su énfasis general en los aspectos lingüístico-sintácticos.

Entre los principales críticos de la aproximación sintáctica se encuentran teóricos de la ciencia como Suppes, Putnam, Hanson, Feyerabend, para quienes las teorías no son conjunto de proposiciones o enunciados, sino entidades extralingüísticas, que pueden ser descritas mediante diferentes formulaciones lingüísticas.

Más allá de la estructura abstracta de las teorías asociada a esta concepción sintáctica, se fue desarrollando una visión historicista y semántica de las teorías en la que los modelos comenzaron a jugar un papel central como representaciones para la toma de sentido.

En contraste con la visión sintáctica, el historicismo permitió entender que las teorías científicas en su dimensión sincrónica (Díez-Calzada, 1997, pp. 42-43):

1. Son entidades sumamente complejas y dúctiles, susceptibles de evolucionar en el tiempo sin perder su identidad.
2. No son enunciados o secuencias de enunciados y en un sentido propio no pueden calificarse de verdaderas o falsas, aunque con ellas sí se realizan afirmaciones empíricas verdaderas o falsas.
3. Tienen, al menos, un componente formal, teórico o conceptual (las leyes o hipótesis) y otro empírico o aplicativo (los sistemas a que se pretende aplicar).

La visión semántica incluyó en el debate sobre la ciencia esta mayor flexibilidad asociada a los asuntos relacionados con el significado no unívoco de los términos científicos, la observación cargada de

teoría, la imposibilidad de distinguir el contexto de justificación del de descubrimiento, entre otros presupuestos propios de la llamada nueva filosofía de la ciencia.

CONCEPCIÓN SEMÁNTICA DE LOS MODELOS CIENTÍFICOS

La concepción semántica de los modelos se desarrolla principalmente a partir de la década de 1970 y retoma los elementos desarrollados en el historicismo, sumando a ellos algunas perspectivas derivadas del avance en las ciencias cognitivas.

De acuerdo con Díez-Calzada (1997, p. 46), la frase que mejor sintetiza a las concepciones semánticas de las teorías científicas es que las teorías no se identifican metateóricamente con conjuntos de enunciados, por lo que, presentar una teoría no es presentar una clase de axiomas, sino presentar una clase de modelos.

Un modelo, en esta aproximación, es un sistema o “trozo de la realidad”, constituido por entidades de diverso tipo, que realiza una serie de afirmaciones, de modo tal que en el sistema empírico que el modelo representa debería tener lugar aquello que las afirmaciones dicen, o más precisamente, un modelo es un conjunto de enunciados que son verdaderos en dicho sistema (Moulines y Díez, 1997).

Esto significa que una de las principales diferencias entre la aproximación semántica y la aproximación sintáctica de los modelos es que en la primera:

...lo que importa de una teoría, lo que la identifica, es lo que ésta afirma sobre el comportamiento de determinada parcela de la realidad, no cómo lo dice. Lo esencial es que caracteriza ciertos trozos de la realidad como comportándose de cierto modo. Esto es, que determina ciertos modelos. Si dos axiomatizaciones lo son de lo mismo, lo son porque ambas determinan la misma clase de modelos o realizaciones. Lo importante es pues qué modelos determina una teoría, no los recursos lingüísticos que emplea para ello... (Díez-Calzada, 1997, p. 48).

La concepción semántica enfatiza, por tanto, la importancia de los modelos en el análisis de la ciencia, “algo es modelo de una afirmación, si la afirmación es verdadera de ello” (Díez-Calzada, 1997, p. 46). Las teorías científicas, en esta concepción, se caracterizan por determinar una clase de modelos, y su identidad está vinculada a tal clase (Moulines y Díez, 1997).

Ahora bien, a pesar de que dentro de la aproximación semántica pueden reconocerse diferentes formas de entender los modelos y las teorías de la ciencia, las diversas caracterizaciones de la noción de teoría comparten rasgos comunes, tales como (Moulines y Díez, 1997; Díez-Calzada, 1997, pp. 51-53):

1. Una teoría se caracteriza, en primer lugar, por determinar un conjunto de modelos; presentar-identificar una teoría es presentar-identificar la familia de sus modelos característicos.
2. Una teoría determina una clase de modelos para algo, para dar cuenta de ciertos datos, fenómenos o experiencias correspondientes a determinado ámbito de la realidad. Parte de la identificación de la teoría consiste, entonces, en la identificación de esos fenómenos empíricos de los que pretende dar cuenta.
3. Una vez identificados los modelos teóricos abstractos y los fenómenos empíricos de los que se pretende dar cuenta, tenemos lo esencial de la teoría. Lo que hace la teoría es definir los modelos con la pretensión de que representan adecuadamente los fenómenos, esto es, con la pretensión de que los sistemas que constituyen los fenómenos de que queremos dar cuenta están entre los modelos de la teoría.

Adicional a este listado, Adúriz-Bravo (2013, p. 1603) agrega que en la concepción semántica de las teorías científicas:

4. Se cambia el interés de la estructura lógica y lingüística de las teorías, hacia cómo las teorías científicas dan significado al mundo en el que son aplicadas por los agentes cognitivos.

- Esto es, priorizan los aspectos semánticos, pragmáticos y retóricos, por encima de los aspectos sintácticos.
5. Se asume que las teorías no pueden reducirse a sólo las proposiciones teóricas que las constituyen, esto es, al “saber qué”, sino que contienen un “saber cómo” acerca de las explicaciones e intervenciones de los hechos a que se refieren; este “saber cómo” permite que algún agente epistémico pueda aplicarlas, con algún propósito específico.
 6. Se considera que las teorías se caracterizan, tanto por un juego de sistemas empíricos que la teoría busca explicar, como por los modelos (en tal sentido, son una familia o clase de modelos), dando mayor relevancia al estudio de los modelos por encima del de las teorías mismas.
 7. Se asume que no hay relación directa entre nuestras proposiciones y los fenómenos empíricos, puesto que esta relación está siempre mediada por los agentes epistémicos y por los modelos mismos, entendidos como representaciones abstractas del mundo. Tales representaciones no pueden reducirse ni a la realidad, ni a las proposiciones en torno a ella.
 8. Se consideran equivalentes las diferentes formas lingüísticas y representacionales bajo las cuales puede expresarse o presentarse un modelo, sin primar algunas formas (como las axiomáticas, formales) sobre otras, siempre que se conserve su poder explicativo.

Para la visión semántica, las teorías son juegos de modelos y éstos, a su vez, son entidades construidas no lingüísticas que se relacionan con la realidad de diferentes maneras (más adelante se describirán éstas como relaciones isomorfas o de semejanza).

Entre los principales representantes de la aproximación semántica a los modelos científicos se encuentran autores como Patrick Suppes (1922-2014), Bas Van Fraassen (1941) y Ronald Giere (1938).

Suppes fue el primero en criticar la identificación de las teorías con determinadas formulaciones lingüísticas propia de la aproximación sintáctica.

Como alternativa a la axiomatización clásica, este autor desarrolló un programa alternativo de axiomatización de teorías científicas con el que se inaugura el enfoque semántico. De acuerdo con Díez-Calzada (1997, p. 55), este procedimiento de axiomatización consiste en la introducción de lo que Suppes llama un predicado conjuntista: “axiomatizar una teoría es definir un predicado conjuntista”. En esencia, un predicado tal es una manera específica de definir una clase de modelos. En este caso, los modelos se entienden como sistemas o estructuras constituidas por una serie de dominios básicos y relaciones y funciones sobre ellos.

Las entidades de tipo lógico, que satisfacen esta serie de dominios básicos y relaciones y funciones establecidos por una teoría, son candidatos a ser modelos de tal teoría; esto es, entidades de las que tiene sentido plantearse si se comportan del modo que dice la teoría:

A las estructuras que satisfacen las tipificaciones, las llama Suppes *posibles realizaciones* [...] Lo que debe quedar claro es que lo esencial de una teoría no son (sólo) sus posibles realizaciones, sino (principalmente) sus *realizaciones efectivas o modelos* en sentido propio. La teoría no sólo contiene tipificaciones, contiene condiciones adicionales que son restrictivas en el sentido de que algunas de las posibles realizaciones las cumplirán, pero otras no [...] Las realizaciones efectivas o modelos de una teoría son aquellas realizaciones posibles que además satisfacen los axiomas propios; el conjunto de modelos será por tanto en general un subconjunto propio de (*sic*) del conjunto de realizaciones posibles... (Díez-Calzada, 1997, pp. 59-60).⁴

Van Fraassen, por su parte, coincide con Suppes en definir una teoría como una clase de modelo. Sin embargo, considera que los modelos no son estructuras conjuntistas como lo piensa Suppes, sino

⁴ Las cursivas son del autor.

que opta por entender los modelos como “puntos” o “trayectorias” en un espacio de estados.

Como describe Díez-Calzada (1997, p. 66), un estado de un sistema está definido por los valores de ciertas magnitudes en un momento. Por ejemplo, un estado de un gas queda definido por los valores de la temperatura, el volumen y la presión; se puede identificar, por tanto, con una triada ordenada de números reales, donde cada componente es, respectivamente, el valor de la correspondiente magnitud. Los estados se identifican, por tanto y en general, con puntos en un determinado sistema de coordenadas, de tantas dimensiones como componentes tengan los estados.

A cada tipo de sistema le corresponde entonces un espacio de estados, esto es, el conjunto de todas las posibles n -secuencias de valores, donde “ n ” es la dimensión del espacio. Los estados posibles de los sistemas de ese tipo son los “puntos” de ese espacio. Lo que hacen los postulados y leyes de una teoría es imponer constricciones sobre las relaciones entre estados, permitiendo ciertas transiciones o coexistencias entre estados y excluyendo otras:

...en línea con las sugerencias que vimos en Suppes, los sistemas a los que se aplica la teoría son subestructuras de los modelos determinados por las leyes [...] ciertas partes de los modelos [son] identificados como subestructuras empíricas, y esos [son] los candidatos para la representación de los fenómenos observables con los cuales la ciencia se puede confrontar en la experiencia, [...] la adecuación empírica consiste en la subsumibilidad de esas partes en algún modelo único del mundo permitido por la teoría. Lo que hace la teoría es postular la existencia de ciertas entidades inobservables, “ocultas”, cuya (supuesta) interacción con las entidades observables produce (pretendidamente) los efectos observables, los fenómenos. Parte de lo que la teoría sostiene es que esas subestructuras empíricas son subsumibles bajo uno de sus modelos, esto es, que se comportan del modo en que lo harían si el mundo fuese uno de sus modelos, con sus entidades ocultas interaccionando con las observacionales del modo específico indicado en las leyes. Ése es el contenido de la aserción empírica y si dicha aserción es verdadera decimos que la teoría es

empíricamente adecuada (que “salva los fenómenos”)... (Van Fraassen, 1989, citado en Díez-Calzada, 1997, p. 67).

Para Van Fraassen presentar una teoría es, por un lado, especificar una familia de estructuras (los modelos) y, por otro, especificar ciertas partes de estos modelos (las subestructuras empíricas) como candidatos para la representación directa de los fenómenos observables. La teoría es empíricamente adecuada si ésta tiene algún modelo en el que todas las apariencias (estructuras que pueden ser descritas en reportes experimentales y de medición) son isomorfas a las subestructuras empíricas de este modelo (Knuuttila, 2005).

Van Fraassen es considerado, de esta forma, un representante del empirismo constructivo, en tanto que sostiene que al aceptar una teoría estamos justificados sólo en creer en su adecuación empírica, no en su verdad.

En la visión semántica de Van Fraassen, el isomorfismo se entiende como una clase de mapeo entre representante y representado, en donde la estructura especificada por un modelo representa su sistema empírico-blanco si ésta es estructuralmente isomorfa; es decir, si la estructura de la realidad empírica es reflejada (especularmente) por la estructura de un juego de teorías y sus modelos.

Ahora bien, no todos los autores que sostienen una visión semántica de los modelos comparten este isomorfismo. Ronald Giere, en contraste, niega que la relación entre un modelo y un sistema empírico sea la del isomorfismo por lo que, a diferencia de Van Fraassen, es considerado un realista (constructivista).

Para Giere la relación entre los modelos y el mundo no es de verdad, correspondencia o isomorfismo (como relaciones lógicas), sino de semejanza. Nada en la estructura de un modelo por sí misma, determinará si éste pertenece a una familia de modelos o no, pues es la comunidad científica la que juzgará si el parecido o similitud es suficiente.

Giere desarrolla su propia versión de la concepción semántica en el marco de un programa metacientífico más amplio de

análisis de los diversos elementos de la ciencia desde una perspectiva cognitiva.

Basado en las ciencias cognitivas, propone considerar a las teorías como medios para definir modelos abstractos de los que se postula su aplicación a ciertos sistemas reales. Para Giere las teorías se conforman de un conjunto de modelos y de hipótesis que conectan estos modelos con el mundo real.

Una hipótesis teórica es un enunciado o proposición que afirma cierto tipo de relación entre un modelo y un sistema empírico determinado (o una clase de sistemas). Los modelos, por su parte y a diferencia de lo propuesto por Suppes y Van Fraassen, no son entidades conjuntistas, ni espacios de estado, sino entidades abstractas y estructuradas que representan algún objeto del mundo y que están definidas mediante ciertos recursos simbólicos, generalmente (pero no sólo) lingüísticos, aunque también puede tratarse de entidades físicas como los modelos a escala de la doble hélice de DNA (Díez-Calzada, 1997).

Los postulados, leyes y ecuaciones que aparecen en los textos científicos definen estas entidades que, para Giere, se construyen socialmente y no tienen realidad más allá de las comunidades de científicos que las desarrollan.

Una vez definidos los modelos, la teoría formula ciertas hipótesis teóricas. A diferencia de los modelos, las hipótesis teóricas sí son entidades lingüísticas (proposicionales), verdaderas o falsas. Ahora bien, la relación que se afirma en la hipótesis teórica acerca de los sistemas empíricos no es la de identidad (es decir, la hipótesis no afirma que cierto sistema empírico es el modelo, puesto que los sistemas son entidades físicas y los modelos son entidades abstractas), sino que la relación afirmada en la hipótesis es siempre de “semejanza o similitud” (*similarity*):

...toda relación de semejanza debe ser cualificada para ser mínimamente precisa. Debe relativizarse a determinados aspectos y, en ellos, a cierto grado.

La forma general de la hipótesis teórica es pues la siguiente: Tal sistema real

identificable es similar al modelo designado en los aspectos y grados indicados... (Giere, 1988, citado en Díez-Calzada, 1997, p. 73).

Esto implica que para Giere, comprometido con un realismo constructivista acerca de la ciencia (Moulines y Díez, 1997): 1) las teorías científicas son entidades que no están bien definidas, por lo que la ciencia tiene un aspecto esencialmente constructivo –socialmente constructivista–, a la hora de definir los modelos que pueden ser representaciones alternativas de un mismo sistema empírico; 2) los enunciados contenidos en la formulación de la teoría no están en conexión directa con el mundo, sino que se conectan indirectamente con el mundo a través de los modelos, mediante una relación de semejanza “en-ciertos-respectos-relevantes-y-hasta-cierto-grado” (Díez-Calzada, 1997, p. 74), que quedan expresados en una hipótesis teórica, y 3) los modelos como tales no son verdaderos o falsos con respecto al mundo.

Como señala Díez-Calzada, a diferencia de Van Fraassen, para Giere hay modelos mejores que otros, pero eso no se puede especificar apelando exclusivamente al mundo, sino que en la actividad representacional de la ciencia siempre es necesario apelar a intereses humanos (no sólo epistémicos o científicos, sino también prácticos y de otra naturaleza), que son los que determinarán qué modelo es el mejor para alcanzar qué fines, dentro de un determinado contexto de la práctica científica. Como afirmaba Moulines (1991, p. 279), “conocer una teoría es también (entre otras cosas) saber a dónde [*y cuándo, cómo y por qué*] hay que aplicarla”.⁵

Aunque Giere reconoce las dimensiones sociales y culturales en el desarrollo científico, al tratar a los modelos científicos como entidades meramente representacionales, se quedan al margen las facetas interactivas y materiales de las cuales surgen las muchas otras capacidades epistémicas y heurísticas de los modelos como mediadores.

⁵ Las cursivas y los corchetes son del autor.

Además de los aspectos abstractos y simbólicos también los filósofos han sabido destacar los aspectos prácticos de los modelos, al observar que cumplen con ciertos propósitos y que son representaciones creadas para mediar entre la realidad y nuestra comprensión teórica sobre la misma (Knuuttila, 2005; Morgan y Morrison, 1999).

CONCEPCIÓN ARTEFACTUAL DE LOS MODELOS CIENTÍFICOS

Dado que en las aproximaciones teóricas sobre la ciencia primó por mucho tiempo una mirada representacional de la actividad científica, dejando de lado la importancia que tienen los elementos materiales, sociales, culturales e híbridos en su desarrollo (Knuuttila, 2005), la definición de los modelos ha llevado a entenderlos, fundamentalmente, como entidades representacionales. Ciertamente, la ciencia puede entenderse como actividad representacional, pero hay al menos dos formas de entender la noción de representación: 1) una forma representacionista de la representación, y 2) una forma intervencionista o interventiva de la representación.

En la forma representacionista de la representación, el conocimiento se concibe como un conjunto de representaciones que reproducen, adecuadamente, lo que está fuera de la mente. Esta aproximación reduce la representación a una relación de isomorfismo o similitud de los modelos con los sistemas empíricos que representan, dotando a éstos de una función principal: la de representar el mundo.

Si bien es cierto que representar (en el sentido representacionista) es una de las propiedades/funciones de los modelos, no es la única. Una de las principales críticas a la concepción semántica de los modelos es la de asumir a éstos como representaciones representacionistas.

Luego de la publicación del libro de Ian Hacking (1983), *Representing and Intervening*, el foco de atención en los estudios de

la ciencia dio un giro de la representación a la intervención; este giro fue característico de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología (STS, por sus siglas en inglés) enfocados en los procesos de producción y desarrollo de los hechos científicos dentro y fuera del laboratorio.

Al énfasis en la intervención, también se sumaron los avances de las ciencias cognitivas y de la filosofía de la mente a los estudios filosóficos sobre la ciencia, introduciendo nociones acerca de la cognición situada, distribuida, incorporada, y complejizando las discusiones sobre las representaciones como herramientas del pensamiento (Knuuttila, 2005).

En 1999, Mary S. Morgan and Margaret Morrison publicaron el texto *Models as Mediators*, en el que se aborda el estudio de los modelos desde el punto de vista de las prácticas científicas. Esta aproximación dio lugar a una nueva concepción de los modelos como instrumentos mediadores entre los científicos y el mundo que pretenden explicar, lo que facilitó el reconocimiento de las muchas otras funciones de los modelos que no se reducen solamente a la de representar, en su sentido más clásico (no intervencionista).

Los modelos no sólo significan representación, sino también intervención; cuando manipulamos los modelos esta doble función nos permite entender cómo y por qué operan y funcionan nuestras intervenciones en el laboratorio, por ejemplo (Morgan y Morrison 1999, p. 12).

En el contexto de las prácticas científicas y comprometidos también con el aspecto funcional de los modelos, para autores como Passmore, Svoboda y Giere (2014), Chamizo (2013), Cheng y Lin (2015), los modelos son las unidades funcionales del pensamiento científico. Esto es, formas de entender y organizar lo que hacen los científicos en sus prácticas, las cuales implican acciones como representar, pero también experimentar, diseñar, construir, discutir, argumentar, entre otras, como vías para alcanzar propósitos propiamente científicos; entre los que destaca, por supuesto, el de entender los fenómenos y los sistemas empíricos.

Ahora bien, este cambio en el modo de entender la representación hacia una forma interventiva no se traduce en un abandono de la visión semántica como tal, sino en un enriquecimiento de la misma.

Este enriquecimiento rebasa, por supuesto, el debate sobre la representación como práctica interventiva para abarcar otras vertientes filosóficas sobre la ciencia no explícitamente recuperadas en la literatura sobre didáctica de las ciencias. Los llamados filósofos estructuralistas de la ciencia, como Moulines, Stegmüller, Sneed, entre otros, todos ellos críticos del antiformalismo a que llevaron los historicistas, continuaron elaborando esquemas para entender las relaciones entre teorías, la estructura conceptual de las mismas y su ámbito de aplicación, así como los tipos de desarrollo teórico sincrónicos y diacrónicos. Moulines (2006), por ejemplo, ha propuesto que las teorías están dispuestas en redes de estructuras piramidales, con un elemento teórico en la cima y una serie de nexos cada vez más especializados, con sus aplicaciones directas o indirectas hacia abajo. “La esencia” de una teoría científica –sincrónica– es un conjunto de diferentes tipos de estructuras complejas compuestas de estructuras más simples, a saber, los modelos potenciales y los modelos actuales. A esto, añade el autor, se suman otros elementos que configuran el núcleo formal de una teoría, entre ellos: las condiciones que constriñen los componentes de cada modelo en función de los componentes de otros modelos de la misma y de otras teorías diferentes; la determinación de qué conceptos y métodos son específicos de la teoría en cuestión y cuáles provienen de teorías subyacentes o del exterior; el componente borroso inherente a cualquier modelo científico, el dominio pragmático-histórico no formalizable. También en el eje diacrónico, Moulines (2011) ha delineado una aproximación tetravalente para entender el desarrollo de las teorías, utilizando su noción de red teórica y dentro de ella otorgando un papel central a los modelos, a saber: 1) emergencia o cristalización de teorías, en donde los modelos de una nueva teoría se van construyendo paso a paso, a través de

muchos estadios intermedios, fragmentarios, antes de que aparezca una nueva red teórica plenamente desarrollada; 2) evolución de teorías, en donde una red teórica se transforma a lo largo de varios periodos añadiendo o suprimiendo algunos elementos teóricos especializados, pero sin perder su identidad esencial, definida por un núcleo teórico básico K; 3) incorporación o incrustación de una teoría en otra, en donde los modelos (potenciales y actuales) de una teoría previa se incorporan o incrustan (aproximadamente y quizás no completamente) en los modelos de una nueva teoría, más compleja, de modo que todas (o casi todas) las aplicaciones intencionales de la primera teoría, hayan sido exitosas o no, pasan a ser aplicaciones intencionales exitosas de la segunda; 4) suplantación de una teoría por otra acompañada de inconmensurabilidad parcial, en donde una teoría destinada a sistematizar un conjunto dado de aplicaciones intencionales puede ser completamente suplantada (abruptamente o en un plazo relativamente breve) por otra teoría (con un marco conceptual muy diferente) destinada a más o menos el mismo conjunto de aplicaciones.

La visión artefactual de los modelos conlleva, por tanto, algunos presupuestos de la concepción semántica, pero se aleja de la visión representacionista de la representación, para asumir una visión interventiva del semanticismo que hace énfasis más en los aspectos funcionales de los modelos, que en los aspectos estructurales.

Así, por ejemplo, para Morgan y Morrison (1999) los modelos son representaciones parciales que difieren en el grado en el cual representan con precisión el sistema empírico. Un modelo de un péndulo puede ser simple y abstracto para dar sentido al movimiento armónico simple, pero puede refinarse con diferentes correcciones que incrementan tanto su complejidad como su éxito en hacer predicciones más precisas sobre el movimiento. De este modo, no se habla sólo de un modelo de un péndulo, sino de una familia de modelos de un péndulo en la que cada uno puede ser usado en diferentes formas y para diferentes propósitos (análogamente, en el capítulo 5 se puede ver el caso de la familia de modelos científicos

de nutrición que permiten entender/intervenir sobre la obesidad y las consecuencias que ello puede tener al diseñar y, en los capítulos 6 y 7, validar secuencias didácticas sobre su abordaje escolar).

Basada en el trabajo de Morgan y Morrison (1999), para quienes los modelos son, sobre todo, mediadores, Knuuttila (2005) añade la dimensión material de los modelos como el otro aspecto de los modelos que los hace mediadores. Para esta autora los modelos son artefactos epistémicos.

Ya Morgan y Morrison habían identificado que la independencia (relativa) de los modelos, con respecto al mundo –y a las teorías–, es lo que los hace capaces de mediar. No obstante, para Knuuttila, la visión de mediación de Morgan y Morrison es limitada, en tanto que no se detiene en la dimensión material de los modelos, ni la define como la segunda propiedad que los habilita para cumplir las múltiples funciones que éstos tienen en los procesos epistémicos de generación, uso y distribución de conocimiento que se proponen los agentes epistémicos cuando representan.

La dimensión material de los modelos, afirma Knuuttila (2005, p. 48), como la de los objetos: 1) les otorga un estatus individual como artefactos (epistémicos), esto es, como entidades con “capacidad para”, más que sólo “representantes de”, y esto; 2) les da la robustez necesaria para mantener su identidad en diferentes contextos y sitios:

...Hablar de esta dimensión conlleva abandonar el mundo ideal y conceptual en que se volvió la filosofía de la ciencia para pasar al mundo social y material de los actores humanos, donde los objetos materiales son parte del medio en que ocurren las prácticas y las actividades humanas...

Para esta autora (p. 49), los modelos son artefactos que construyen los humanos para interactuar con el mundo, además de para representarlo, y son también entidades funcionales que se materializan en alguna forma (en lugar de ser consideradas construcciones teóricas y puramente abstractas, como proponía Giere en

un principio); su función representacional no debería ser tratada solamente en términos representacionistas.

En su carácter de artefactos epistémicos, los modelos se vuelven objetos artificiales autocontenidos que pueden ser usados en el quehacer científico de muchas maneras, tantas que la diversidad de modelos está relacionada con la diversidad de funciones que éstos cumplen en los procesos epistémicos de la ciencia. Como herramientas del razonamiento los modelos permiten enlazar, explorar, organizar, predecir, investigar fenómenos, desarrollar explicaciones, generalizaciones, abstracciones y afirmaciones causales sobre estos fenómenos (Passmore, Svoboda y Giere, 2014).

Un ejemplo de la relevancia del aspecto material de los modelos puede ilustrarse con el modelo molecular del DNA. Las ideas abstractas sobre la estructura y función de esta molécula (junto con los datos derivados de las pruebas con rayos X) pudieron incorporarse en el objeto material de una doble hélice, convirtiendo el modelo del DNA como lo conocemos en una herramienta para razonar sobre el funcionamiento de esta molécula.

La estructura tridimensional del DNA no es sólo un *modelo-del* DNA, sino un modelo que permite entender su función (y en tal sentido es un *modelo-para* el DNA). En este sentido, los modelos trabajan como mediadores entre lo teórico y lo empírico, desdibujando estas fronteras y facilitando nuestro intervenir y representar.

Como sostiene Adúriz-Bravo (2013), los modelos científicos son tanto “modelos-de”, como “modelos-para”. Esta postura captura los dos diferentes sentidos de la palabra latina *modus*, de la cual deriva “modelo”: por un lado, significa “manera” y, por otro “medida”.

Siguiendo a este autor:

...Una “manera” es hasta cierto grado identificable con el “modelo-para”, puesto que es la manera en la cual algo existe u ocurre [...] Una “medida” es hasta cierto punto identificable con el “modelo-de” [...] es un grado, intensidad, proporción o correspondencia por comparación... (Adúriz-Bravo, 2013, p. 1601).

Además de permitir la mediación entre diferentes actores, la materialidad es importante también para el amplio funcionamiento epistémico de los modelos, puesto que ésta constriñe lo que podemos hacer con un modelo; esto es, define las intersecciones de éstos con los usos potenciales que puede tener en un contexto socioepistémico específico. Los modelos son, por lo tanto, herramientas dependientes del contexto.

Pensar a los modelos como artefactos sitúa sus funciones epistémicas dentro de los arreglos de una práctica científica. Esto significa que un modelo cumple sus funciones en los arreglos cultural-discursivos, económico-materiales y sociopolíticos⁶ prevalecientes en un contexto de prácticas científicas determinadas; estar situados en práctica, por consiguiente, también amplía sus funciones epistémicas, más allá de las meramente representacionales (en un sentido no intervencionista).

Como enfatizan Morgan y Morrison en el texto ya citado, el valor epistémico de los modelos radica en su significatividad para los procesos de construcción y manipulación de realidades. Aprendemos de los modelos, según estos autores, a través de su construcción y manipulación, lo que implica hablar de modelos como entidades más concretas en lugar de un conjunto de ideas conceptuales. Para aprender de un modelo, éste tiene que ser un objeto autocontenido ubicado en un contexto socioepistémico, mediante el cual podemos interactuar con otros y trabajar, colaborar, inferir, imaginar e intervenir en el mundo.

Concebir a los modelos como artefactos epistémicos, en vez concebirlos sólo como entidades teóricas abstractas y conceptuales (cuyo valor ha radicado más en su estructura que en su función), provee una mirada fresca y funcional de los modelos y de su valor

⁶ Toda práctica, como sitio de lo social, se despliega sobre un andamiaje compuesto de tres clases de arreglos que constituyen la arquitectura las prácticas científicas. Este andamiaje determina los decires, haceres y relaciones de las acciones humanas en el contexto de la ciencia, a saber, arreglos cultural-discursivos; económico-materiales, y sociopolíticos.

epistémico, dejando ver que los modelos no son ni pueden ser entidades teóricas aisladas. Los modelos son representaciones parciales del mundo que, en su calidad de mediadoras, pueden ser modificadas y modificar el mundo que representan (Chamizo, 2013).

Los científicos no son totalmente libres de construir y representar el mundo y sus objetos empíricos conforme a sus deseos. Estudios filosóficos de la ciencia, como los de Rheinberger (1997) y Knorr Cetina (1999), han dejado claro que las prácticas representacionales de la ciencia, en su despliegue, se definen materialmente.

La concepción artefactual de los modelos destaca, así, el carácter tripartita de la representación que se desarrolló al inicio del presente capítulo. El estatus de los modelos como artefactos epistémicos les atribuye un amplio valor funcional en las múltiples interrelaciones posibles que tienen lugar entre: *a*) las dimensiones materiales del mundo empírico en que se desenvuelve una práctica científica,⁷ y *b*) las intenciones y propósitos de los agentes epistémicos, los cuales despliegan sus acciones en este contexto de prácticas materialmente constreñidas y habilitadas para el despliegue de las acciones científicas.

Si hasta antes de los estudios sociales y culturales de la ciencia habría primado una concepción moderna representacionista del conocimiento, en el sentido de enfatizar como criterio de verdad de una representación a las relaciones de correspondencia entre éstas con el mundo, con la perspectiva social y cultural en el análisis de la ciencia, se ha podido dar lugar a formas distintas de evaluar la objetividad de las representaciones generadas por los científicos.

Así, por ejemplo, para que una representación pueda considerarse objetiva, los agentes epistémicos que la sostienen deben tener a su disposición buenas razones para creer que tal estado del mundo en efecto existe y es como se le describe, y que no hay buenas

⁷ Esto es, en las tres clases de arreglos señaladas con anterioridad (arreglos cultural-discursivos, material-económico y sociopolíticos) en las que tiene lugar la ciencia como práctica.

razones para creer lo contrario. Lo que cuenta como comportamiento científico, racional y objetivo deja de depender de criterios absolutos, para supeditarse a criterios relativos a las prácticas en cuestión. Muchas veces las buenas razones para creer que una representación es objetiva provienen del hecho de que tal representación, en el contexto de sus prácticas correspondientes, permite intervenciones exitosas en el mundo, si bien este criterio no es el único posible para evaluar el estatus de una representación.

Para los filósofos pragmáticos, la relación entre los modelos y el mundo adquiere sentido en el contexto de los usos intencionales de los agentes epistémicos; son éstos quienes decidirán cómo vincular, filtrar, simplificar, representar el fenómeno con el modelo que buscan generar. Justo como lo había planteado Giere, la definición de cuáles rasgos necesitan ser compartidos entre uno y otro y a qué grado, dependerá de los fines en que el agente epistémico quiera considerar al aproximarse a ciertos fenómenos.

De acuerdo con Bailer-Jones (2003), los modelos no deben juzgarse por la verosimilitud con la cual representan a los sistemas empíricos, sino por su valor o diseño heurístico para representarlos y para facilitar el acceso perceptual e intelectual al mismo.

La introducción de los fines (usos) y de los usuarios (o agentes epistémicos) en la representación y su evaluación epistemológica asume que modelizar es una actividad intencional de usuarios o agentes que representan, y que, por tanto, no puede ser entendida sino como una relación de más de dos componentes. Modelizar supera el representacionalismo que establecía una relación estática y diádica entre aquello que representa (modelos) y lo representado (el mundo, los sistemas empíricos), dando paso a los modelos como artefactos relacionales que son usados de muchas otras maneras en el quehacer de la ciencia.

Más que representar –en una relación uno a uno– los objetos del mundo y sus relaciones, los modelos como artefactos nos permiten imaginar y dilucidar cómo podría ser el mundo. Este proceso de imaginación, exploración e intervención, en tanto práctica social, tiene

—como ya se ha mencionado— limitaciones cultural-discursivas, material-económicas y sociopolíticas.

¿QUÉ SON LOS MODELOS CIENTÍFICOS?

BREVE RECAPITULACIÓN

Con lo visto hasta ahora, resultaría ingenuo pensar que los modelos son copias de la realidad. En las distintas concepciones de los modelos que se han abordado previamente, es claro que los modelos son entidades epistémicas, dinámicas y funcionales, que se construyen y usan conforme se necesitan para el alcance de ciertos fines que se proponen los agentes epistémicos en un contexto determinado de práctica.

Abordar la naturaleza de los modelos, implica considerarlos como entidades epistémicas que poseen ciertas propiedades ontológicas y epistemológicas que varían conforme a las posturas filosóficas sobre la ciencia que asumamos (Passmore, Svoboda y Giere, 2014).

Las propiedades ontológicas (o constitutivas) tratan acerca de qué representan los modelos, un asunto que concierne básicamente al problema de lo que constituye la relación entre el modelo y el mundo y la naturaleza de los modelos, en tanto objetos. Las propiedades epistemológicas (o evaluativas), por su parte, tratan acerca de cómo distinguir una representación correcta, esto es, se refieren al asunto normativo de lo que es una buena representación (objetiva, científica) y de los criterios en virtud de los cuales un modelo se considera, en efecto, una representación científica de algo más.

Desde el punto de vista ontológico, las relaciones entre los modelos y el mundo que representan varían en función de si asumimos una postura como la de Van Fraassen (quien plantea un isomorfismo entre el mundo y el modelo, entendiendo este último como reflejo especular del primero) o si se acepta un criterio de semejanza como el de Giere, en el que, según la intención del agente

epistémico, sólo algunas propiedades de los sistemas empíricos serán parte del modelo (Passmore, Svoboda y Giere, 2014); pero también su ontología variará en función de si asumimos una noción representacionista de la representación o una noción interventiva de la misma.

En términos generales, podemos asumir que los modelos, ontológicamente: 1) están definidos por el contexto de su uso; 2) son representaciones parciales (e intervencionistas) de los fenómenos, y 3) son distintos de las formas representacionales que toman. Epistemológicamente, los modelos también poseen al menos dos propiedades estructurales y funcionales clave para los procesos de generación de conocimiento, mismas que en la visión semántica toman las formas que se revisarán a continuación.

Como vimos en las concepciones semántica y artefactual de los modelos, ambas insertas en los presupuestos de la nueva filosofía de la ciencia, no se pueden separar los contextos de justificación y de descubrimiento. Esto significa, como señala Passmore, Svoboda y Giere (2014), que (y esto sería una propiedad epistemológica de los modelos): 1) no hay una distinción entre el desarrollo y la evaluación de los modelos, como sucedía en la concepción lingüística-sintáctica. La objetividad y éxito de un modelo estará ligado, por consiguiente, a la medida en que un modelo pueda ser usado como solución a un problema teórico o práctico, o bien, que pueda ser considerado como una explicación tentativa a un fenómeno empírico, o que indique las posibilidades de conceptualizar matemáticamente un problema.

De aquí que, con las aportaciones de Giere se asuma que: 2) no hay un solo modelo que pueda considerarse el único mejor para todos los propósitos que los agentes epistémicos busquen alcanzar. Un buen modelo no puede definirse *a priori*, en términos abstractos y universales, sino siempre en términos concretos y contextuales. El hecho de que haya muchos modelos para un mismo objeto en el mundo, indica que no hay una sola manera científica (correcta) de ver y entender los fenómenos, y que no hay un solo propósito que

guíe a los agentes epistémicos en la acción de modelizar o construir modelos.

El propósito de los modelos es múltiple, más que para copiar la realidad, hemos visto que éstos son herramientas epistémicas para desarrollar, pensar, formular, comunicar, revisar, razonar, evaluar ideas en la ciencia; tal es el sentido funcional de un modelo como representación que permite a los agentes como usuarios ganar información sobre el mundo, o sobre un sistema empírico.

Los atributos y formas de un modelo están en el contexto de su uso, pues no hay una toma de decisiones fuera del contexto decisonal en el que se ubican los fines específicos del agente epistémico que modeliza.

El valor, la estructura y la función de los modelos derivan de sus roles en la investigación, de las maneras en que éstos permiten a los agentes-usuarios derivar inferencias sobre la base de los sistemas empíricos, las predicciones que éstos hacen o los cursos de acción que los modelos habilitan.

Epistemológicamente los modelos pueden distinguirse, no tanto por su adecuación empírica,⁸ sino por sus potenciales usos en la práctica de los científicos.

Odenbaugh (2005) identifica cinco principales tipos de modelos en función de sus usos pragmáticos: 1) modelos simples, no realistas, que pueden ayudar a explorar sistemas complejos; 2) modelos que pueden ser usados para explorar posibilidades no conocidas de un sistema empírico; 3) modelos que pueden permitir el desarrollo de nuevos marcos conceptuales; 4) modelos que pueden ayudar a hacer predicciones más precisas, y 5) modelos que pueden generar explicaciones causales.

⁸ Actualmente la noción de uso es importante para entender la representación científica (Gelfert, 2016). El propio Van Fraassen cambió de visión en treinta años; mientras que en *La imagen científica* argumentó por la adecuación empírica de una teoría, después su posición se movió a una visión más pragmática de la representación.

Todos estos usos de los modelos son clave para la adquisición de sentido; algunos de ellos –los primeros dos– reflejan muy bien el sentido representacionista tradicional de los modelos; con el resto nos aproximamos a usos de corte más funcional e interventivo.

Passmore, Svoboda y Giere (2014) distinguen entre dos clases de razonamiento basado en modelos que se complementan entre sí: *a)* razonar-con-el-modelo, y *b)* razonar-acerca-del-modelo.

El primer tipo de razonamiento permite describir y explicar algún fenómeno particular utilizando un modelo como forma exploratoria del mundo; razonar-con-un-modelo es central en las acciones características de una práctica científica como son observar, describir, preguntar, diseñar investigaciones, explicar, predecir, entre otras. Razonar-acerca-de-los-modelos, por su parte, permite desarrollar, evaluar, revisar y refinar las propiedades y componentes de los modelos como productos de conocimiento que dan sentido al mundo.

La concepción semántica de los modelos puede, por consiguiente, enfatizar en los aspectos estructurales de los modelos (como en el caso de Van Fraassen), o bien, resaltar sus propiedades epistémicas funcionales (como es el caso de las propuestas de Giere, Morgan y Morrison o Knuuttila).

Hablar de modelos como entidades representacionales no debe reducirse al sentido representacionista de la representación, sino que debe considerar el sentido interventivo de las prácticas científicas, en las que los modelos tienen una utilidad exploratoria, explicativa, predictiva, experimental, enfocada en generar nuevas ideas y formas de pensar, de actuar, de manipular e intervenir.

LOS MODELOS CIENTÍFICOS Y EL CONTEXTO ESCOLAR

El giro hacia la práctica en la filosofía de las ciencias, llevado al campo de la educación científica, implica, en primera instancia, que el esfuerzo por entender la ciencia y los modelos científicos en el

campo de la filosofía, pueda ser aplicado en el campo educativo de la ciencia. Así, las ideas acerca de cómo, de hecho, se practica y se hace la ciencia, pueden constituirse en una vía para la transformación y mejora de la enseñanza de las ciencias.

Como señalan Passmore, Svoboda y Giere (2014), lo que el creciente giro hacia la práctica ha significado, es que los filósofos y teóricos sobre la ciencia han dejado de tratar de entender los procesos científicos como un sistema singular y lógico de generación y evaluación de conocimiento y han comenzado a enfocarse más cuidadosamente en examinar los contextos y matices de lo que hacen los científicos en su práctica para dar sentido al mundo. Este cambio de enfoque es importante para también entender cómo pueden ocurrir ciertos procesos de generación de conocimiento en ámbitos específicos, como el aula de ciencias.

La posibilidad de ofrecer a los estudiantes de ciencias una visión más precisa de lo que es la ciencia, significa trasladar al contexto educativo y traducir el cómo la ciencia se practica, considerando las acciones que los científicos usualmente llevan a cabo, pero también parte del medio en que se desenvuelven y su estructura social, las pautas y reglas epistemológicas, metodológicas y culturales de la ciencia, el papel de los instrumentos y los objetos materiales, las estrategias de razonamiento y resolución de problemas, entre otras características propias de la práctica científica.

En este ejercicio de recreación y adaptación del “hacer de la ciencia” en el contexto escolar, la importancia de los modelos y la modelización en la educación científica se vuelve central como el andamiaje que es de las formas de proceder de los científicos en sus prácticas; los modelos, como se ha delineado hasta ahora, son estructuras funcionales que organizan la práctica científica en su afán por dar sentido al mundo.

Tanto Giere (2002) como Nersessian (2002) han argumentado que la cognición científica está necesariamente embebida en contextos socioculturales que forman y sostienen las complejas interacciones con otros humanos y con formas materiales y culturales

del medio en que tiene lugar la ciencia (Passmore, Svoboda y Giere, 2014). Llevada al contexto escolar, es la actividad cognitiva de dar significado –resaltada por la visión semántica de las teorías y modelos científicos– la que debería proveer, según estos autores, del criterio primario para que los estudiantes trabajen más con procesos de modelización.

Si los modelos no son simplemente imágenes especulares del mundo y de sus fenómenos, sino herramientas usadas para razonar sobre éste, el trabajo escolar con modelos puede permitir el desarrollo de formas de pensamiento científico que vayan más allá de la memorización de estructuras y funciones. Dada la importancia de los modelos en el contexto de su uso, el trabajo escolar con modelos no se agota en su adecuación empírica en función de las supuestas estructuras del mundo, sino que requiere de un proceso interpretativo de elección, pensamiento crítico, metacognición y toma de decisiones, conforme a los fines que las diferentes tareas cognitivas le pueden demandar a un estudiante que aprende a proceder como un científico, buscando dar sentido a un determinado aspecto del mundo.

La aproximación a los modelos en términos de sus propósitos permite que los estudiantes, al igual que lo hacen los científicos, consideren que hay muchos conjuntos de ideas, y más de un modelo, que pueden explicar adecuadamente los fenómenos de interés científico.

Adúriz-Bravo (2013) apunta que modelizar (construir y actuar con modelos) es una de las principales actividades de los científicos. La modelización, como ejercicio intelectual, permite representar (e intervenir en) fenómenos y hechos empíricos mediante modelos que puedan explicarlos; modelos que sean entendidos como formas en que se obtiene información sobre el mundo y se genera nuevo conocimiento.

Entre las ventajas de asumir una visión semántica de los modelos en el terreno de la educación científica, Adúriz-Bravo (2013, pp. 1605-1606) destaca las siguientes:

1. La concepción semántica abre posibilidades para remover la carga de los formalismos, superando la tendencia reproducir enunciados proposicionales y promoviendo el entendimiento de los fenómenos detrás; esto conlleva poner menos atención a los aspectos formales para concentrarse en la importancia de la adquisición de sentido y significado en la educación en ciencias.
2. Esta visión de los modelos permite considerarlos como representaciones posibles del mundo, simples, comprensivas y potentes; pueden ser introducidos en las clases de ciencias mediante hechos reconstruidos que permitan a los alumnos dar sentido a un conjunto de hechos similares lo que, a su vez, desarrolla una visión de las teorías científicas como modelos que pueden usarse para entender o intervenir en distintos fenómenos.
3. La modelización en la educación en ciencias, desde una concepción semántica, puede ser considerada una oportunidad didáctica para poner a prueba un conjunto de hipótesis que permitan a los estudiantes identificar el grado de ajuste entre nuestras ideas sobre ciertos fenómenos y nuestras intervenciones en los mismos. Los modelos se consideran, entonces, tentativos y sujetos a revisión y reemplazo si no cumplen con sus funciones explicativas o predictivas, o si no guardan consistencia con otros modelos o cuerpos de conocimiento previamente aceptados.
4. La concepción semántica de los modelos deja ver que los modelos científicos son, al mismo tiempo, modelos-de y modelo-para.

En el contexto educativo la distinción entre modelos-de y modelos-para es muy importante porque sitúa al modelo en el contexto de su uso, enfatizando su dimensión funcional, más que la dimensión estructural. Esto significa que los modelos científicos en la enseñanza no podrían abordarse como “objetos” a memorizar, sino como

entidades dinámicas y funcionales que ayudan a organizar dispositivos didácticos, como son las secuencias didácticas, y a enfocar las actividades cognitivas hacia una toma de sentido.

Esto requiere que la introducción de modelos en la didáctica de la ciencia supere la creencia de que la tarea más importante de la educación científica es la de evaluar si el estudiante puede recitar de memoria (posee o no) el modelo correcto de la ciencia, y enfoque su atención, como afirma Adúriz-Bravo en la obra citada, en provocar que el estudiante sea capaz de representar científicamente el mundo que lo rodea. Esto implica, modelizar explicaciones tentativas que den sentido a los fenómenos de su interés, decidiendo qué rasgos y relaciones son importantes de representar como respuesta para la tarea cognitiva o el fin particular de la actividad que se le propone en clase.

Así como hay herramientas físicas y mecánicas que nos ayudan a resolver problemas y que nos facilitan la ejecución de una acción, ampliando nuestras habilidades para hacer cosas que no podríamos hacer con nuestra sola capacidad natural,⁹ también hay herramientas que nos ayudan a poner atención, a recordar, a pensar mejor.

Inspiradas en los aportes de Lev Vygotsky (1896-1934), Elena Bodrova y Deborah J. Leong (2004), en su texto titulado *Herramientas de la mente: el aprendizaje en la infancia desde la perspectiva de Vygotsky*, refieren que tales herramientas son aquellas que amplían nuestras habilidades mentales y que transforman la manera misma en que ponemos atención, recordamos y pensamos. Las “herramientas de la mente” son, quizá, la noción que mejor sintetiza la potencialidad de aplicación de los modelos científicos, pensados en su carácter interventivo, en el contexto de la enseñanza de las ciencias.

Según Vygotsky (1979), las herramientas de la mente permiten que los seres humanos nos adaptemos al medio ambiente,

⁹ Por ejemplo, para levantar una roca podemos ayudarnos de una palanca o para cortar madera podemos usar un serrucho.

orientando nuestras conductas y acciones para conseguir una meta común: "...la función de la herramienta no es otra que la de servir de conductor de la influencia humana en el objeto de la actividad [...] Es un medio a través del cual la actividad humana externa aspira a dominar y triunfar sobre la naturaleza..." (Vygotsky, 1979, p. 91).

Bodrova y Leong (2004) apuntan cómo desde esta perspectiva vygotskiana, las herramientas de la mente son mediadores abstractos entre los cuales incluimos a las palabras, los símbolos, los mapas y, por supuesto, a los modelos. Los mediadores, de acuerdo con estas autoras, funcionan como andamios "pues ayudan al niño en su transición del desempeño con la máxima asistencia al desempeño independiente" (Bodrova y Leong, 2004, p. 70). Los modelos científicos, pensados como mediadores, funcionarían como estos escalones temporales para ampliar y apoyar el desarrollo del pensamiento y el razonamiento científico de los estudiantes.

En tal sentido es que podemos pensar también en el papel mediador del llamado "Modelo Científico Escolar de Arribo" (López y Mota y Moreno-Arcuri, 2014), un dispositivo teórico-conceptual y metodológico (que se aborda y discute en diferentes capítulos del presente libro), como una herramienta de la mente que resulta relevante como medio, tanto para orientar la capacidad de los estudiantes para representar, transmitir y compartir contenidos científicos, como para organizar y crear entornos y condiciones propicios para el aprendizaje de las ciencias.

En concordancia con los postulados de las teorías socioculturales del aprendizaje, lo que la filosofía de la ciencia aporta a la didáctica de las ciencias, en síntesis, es la importancia de ubicar, en el contexto de los procesos de generación, distribución, evaluación y enseñanza de las ciencias, a los modelos científicos como los medios, y no como los fines.

REFERENCIAS

- Adúriz-Bravo, A. (2013). A 'semantic' view of scientific models for science education. *Science & Education*, 22(10), 1593-1611.
- Bailer-Jones, D. (2003). When scientific models represent. *International Studies in the Philosophy of Science*, 17(1), 59-74.
- Bodrova, E. y Leong, D. J. (2004). *Herramientas de la mente: el aprendizaje en la infancia desde la perspectiva de Vygotsky*. México: Prentice Hall.
- Cassini, A. (2018). Modelos científicos. En *Diccionario interdisciplinar austral*. Recuperado el 19 de mayo de 2018 de http://dia.austral.edu.ar/index.php?title=Especial:Pdfprint&page=Modelos_cient%C3%ADficos
- Chamizo, J. (2013). A new definition of models and modeling in chemistry's teaching. *Science & education*, 22(7), 1613-1632.
- Cheng, M. y Lin, J. (2015). Investigating the relationship between students' views of scientific models and their development of models. *International Journal of Science Education*, 37(15), 2453-2475.
- Díez-Calzada, J. A. (1997). La concepción semántica de las teorías científicas. *Éndoxa: Series Filosóficas*, (8), 41-91.
- Giere, R. N. (2002). Discussion Note: distributed cognition in epistemic cultures. *Philosophy of Science*, 69(4), 1-8.
- Gelfert, A. (2016). *How to do science with models: a philosophical primer*. Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Hacking, I. (1983). *Representing and intervening: introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- Ibarra, A. y Mormann, T. (1997). *Representaciones en la ciencia: de la invariancia estructural a la significatividad pragmática*. Barcelona, España: Ediciones del Bronce.
- Knorr Cetina, K. (1999). *Epistemic Cultures. How sciences make knowledge*. Cambridge, Massachusetts, EUA: Harvard University Press.
- Knuuttila, T. (2005). *Models as epistemic artefacts: toward a non-representationalist account of scientific representation*. Helsinki, Finlandia: Department of Philosophy-University of Helsinki.
- López y Mota, A. 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.
- Martínez, S. y Huang, X. (2015). *Hacia una filosofía de la ciencia centrada en prácticas*. México: Bonilla Artigas Editores.
- Morgan, M. y Morrison, M. (1999). *Models as mediators. Perspectives on natural and social science*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.

- Moulines, U. (1991). *Pluralidad y recursión. Estudios epistemológicos*. Madrid: Alianza Editorial.
- Moulines, U. (2006). El estructuralismo metateórico. *Universitas Philosophica*, (46), 13-25.
- Moulines, U. (2011). *El desarrollo moderno de la filosofía de la ciencia (1890-2000)*. México: IIF-UNAM.
- Moulines, U. y Díez, J. A. (1997). *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. Barcelona, España: Ariel.
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. En P. Carruthers, S. Stich y M. Siegal (eds.), *The cognitive basis of science* (pp. 133-153). Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- Odenbaugh, J. (2005). Idealized, inaccurate but successful: a pragmatic approach to evaluating models in theoretical ecology. *Biology & Philosophy*, 20(2-3), 231-255.
- Odenbaugh, J. (2009). Models in biology. En E. Craig (ed.), *Routledge Encyclopedia of Philosophy*. Londres, Inglaterra: Routledge.
- Olivé, L. (2007). *La ciencia y la tecnología en la sociedad del conocimiento. Ética, política y epistemología*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Passmore, C., Svoboda G, J. y Giere, R. (2014). Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making. En M. R. Matthews (ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1171-1202). Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Pérez-Ransánz, A. R. (1999). *Kuhn y el cambio científico*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Rheinberger, H. J. (1997). *Toward a history of epistemic things: synthesizing proteins in the test tube*. Stanford, EUA: Stanford University Press.
- Vygotsky, L. (1979). *El desarrollo de procesos psicológicos superiores*. Barcelona, España: Crítica.

CAPÍTULO 3

MODELOS Y MODELIZACIÓN EN LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS¹

*Ana Milena López Rúa**

*Óscar Eugenio Tamayo Alzate***

INTRODUCCIÓN

Este capítulo describe las principales aproximaciones de investigación en torno a una línea sobre modelos y modelización en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

Con este propósito consideramos esencial asumir la reflexión desde tres lugares teóricos: la filosofía de la ciencia, las ciencias cognitivas y la didáctica de las ciencias; lugares desde los cuales presentamos algunos de los más influyentes referentes conceptuales orientadores de esta línea de investigación. Para ello, en primer lugar, se harán algunas reflexiones orientadas a comprender el ingreso de la perspectiva

¹ Este producto corresponde al Programa Reconstrucción del Tejido Social en Zonas de Posconflicto en Colombia, código SIGP, Programa: 57579. Financiado por el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, Francisco José de Caldas, contrato núm. 213-2018, Código 58960.

* Universidad Autónoma de Manizales, <ana.lopezru@autonoma.edu.co>

** Universidad de Caldas y Universidad Autónoma de Manizales, <oscar.tamayo@ucaldas.edu.co>

representacional de la epistemología a la didáctica de las ciencias, con especial atención en las diversas vertientes semanticistas; cabe aclarar que no es el interés de este capítulo realizar una presentación exhaustiva de esta temática.

Posteriormente, nos dedicaremos a explorar algunos de los principales aportes provenientes de la psicología del aprendizaje y de las ciencias cognitivas sobre los modelos; para ello presentaremos la transición de las investigaciones centradas en la exploración de ideas previas hacia aquellas orientadas por el estudio de modelos conceptuales. Asimismo, daremos cuenta del paso de las investigaciones centradas en el estudio de modelos desde una perspectiva unidimensional, al estudio de los modelos a partir de un acercamiento multidimensional; lo que nos llevará a sugerir diferencias entre modelos conceptuales y modelos mentales. Estas reflexiones nos conducirán, finalmente, a presentar generalidades en dos líneas de investigación: el aprendizaje basado en modelos (MBL)² y la enseñanza basada en modelos (MBT).³ Presentadas las generalidades de la incursión en la línea de modelos y modelización en la didáctica de las ciencias, pasaremos a enfatizar cuatro aspectos presentados a manera de tesis orientadoras dentro de la misma: 1) la centrada en el argumento de que pensamos y actuamos con modelos; 2) la referida a que los modelos de pensamiento y de acción de las personas son multidimensionales; 3) la orientada a considerar de manera intencionada y consciente los modelos mentales multidimensionales como artefactos epistémicos en las aulas de clase, tomando distancia del estudio de los modelos como entidades de conocimiento, y 4) aquella en la que asumimos una perspectiva evolutiva del aprendizaje como cambio en los modelos de los estudiantes.

² *Model-Based Learning*, por sus siglas en inglés.

³ *Model-Based Teaching*, por sus siglas en inglés.

PERSPECTIVAS DE LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA ACERCA DE LOS MODELOS

Dado el interés de este capítulo, centraremos nuestra atención en presentar algunas de las tendencias contemporáneas más representativas de la familia semanticista. Para ello, inicialmente nos referiremos de manera general a aquellos aspectos que generaron el *semanticismo*, para luego hacer referencia a diversas vertientes que se han consolidado al interior de esta perspectiva de la filosofía.

Desde el campo de la ciencia se ha reconocido hace varias décadas que la construcción y aplicación de modelos es una de las principales actividades de los científicos. Al interior de este campo, inicialmente se focalizó la atención en el estudio de la estructura de las teorías científicas y la relación de éstas con la realidad. Posteriormente, el interés se centró en lograr mejores comprensiones de la compleja relación entre los modelos y las teorías, lo que agudizó reflexiones de naturaleza epistemológica; este cambio se debió principalmente al surgimiento de la concepción semántica que propone el movimiento desde una caracterización lingüística de una teoría científica, hacia otra representacional.

Desde finales del siglo XX se planteó que los auténticos vehículos del conocimiento eran los modelos y no las teorías (Suppe, 2000). Para los semanticistas una teoría no es representada sólo por los axiomas que la componen sino, también, por el conjunto de modelos que la constituyen (Ariza, Lorenzano y Adúriz-Bravo, 2010); lo importante de una teoría es lo que ella representa sobre un segmento de la realidad y no la forma como describe dicha realidad. Desarrollos posteriores al interior de la perspectiva semanticista –con su interés en investigar las complejas relaciones entre realidad, teorías y modelos– permitieron, por una parte, la consolidación de una de las líneas de investigación más fructífera en las últimas décadas: la de modelos y la modelización; y por la otra, el desarrollo de distintos enfoques al interior del semanticismo, tales como los

pragmatistas, los mediadores y los artefactuales, los cuales serán presentados más adelante.

Los últimos debates sobre las representaciones se han concentrado en la potencialidad de los modelos para la construcción de nuevos conocimientos, debido a que representan sistemas-objetivo del mundo real (Contessa, 2007; Da Costa y French, 2000; Frigg, 2002; Giere, 2004; Morrison y Morgan, 1999; Knuuttila, 2011; Taimayo, 2006). Asimismo, se discuten aspectos como el tipo de relación que se establece entre un modelo y un sistema-objetivo (si es de isomorfismo o similitud), el asunto del representacionalismo, el papel del usuario en la representación y la materialización de los modelos en artefactos; cuestiones que han llevado a estructurar discusiones filosóficas en, al menos, tres enfoques: diádicos, triádicos y artefactuales (adaptado de Knuuttila, 2011).

En primer lugar, el enfoque diádico se basa en la intuición de que hay algo que un modelo y un sistema-objetivo comparten que fundamenta la relación representacional: el modelo y el sistema-objetivo. Aquí encontramos a los estructuralistas y a los semantistas, quienes ponen en primer plano la relación entre el modelo y la realidad, relegando el papel del usuario. En segundo lugar, el enfoque pragmático (triádico) propone que los modelos funcionan como representación de su referente-objetivo en virtud de los usuarios, quienes los usan con algún propósito (Gelfert, 2017); esta corriente añade dos características a las representaciones: su intencionalidad y su capacidad inferencial. En tercer lugar, el enfoque artefactual establece que no podemos desligar los modelos de las representaciones, sino avanzar hacia su uso en la construcción de conocimientos; esto es, que los modelos son artefactos para producir nuevas teorías, principios, leyes y, principalmente, objetos tangibles. Esta vertiente, además de reconocer que los modelos son representaciones del mundo –o partes de él– y de destacar el papel de los agentes, enfatiza en la necesidad de conocer cómo los modelos contribuyen a la construcción de nuevo conocimiento, y propone, en consecuencia, la multifuncionalidad

de los modelos, en lugar de centrarse en la perspectiva representacional del modelo.

La concepción semanticista

La filosofía de las ciencias pasó por tres etapas durante su proceso de desarrollo como disciplina, cada una de ellas con una concepción propia de las estructuras científicas: 1) en el periodo clásico –concepción heredada–, se asumió una noción axiomática;⁴ 2) en el periodo historicista, se reconoció el valor de elementos contextuales y personales en la producción de conocimiento científico, tomando distancia del positivismo lógico, y 3) en el periodo semanticista, se propuso ver las teorías como entidades modelo-teóricas, perspectiva de especial interés en este capítulo.

Considerar las teorías como axiomas parcialmente interpretados llevó a los autores del semanticismo a proponer que las teorías no se identifican con un conjunto de enunciados; para ellos, presentar una teoría no es presentar una clase de axiomas, sino una familia de modelos (Díez-Calzada, 1997). La concepción semanticista de los modelos hace referencia a una familia en la que encontramos distintas tendencias, que difieren en la forma de entender el concepto de modelo y la relación de éste con la realidad (Ariza *et al.*, 2010). Para el estructuralismo el modelo es una estructura que satisface algo, es decir, el modelo consiste en sistemas de reglas semánticas que son interpretadas mediante el cálculo matemático formal y abstracto (Knuuttila, 2005; Gilbert y Justi, 2016). Para van Fraassen (1980) el modelo es una estructura matemática que representa aspectos de ciertos sistemas reales; mientras para Giere los modelos son representaciones (Guerrero, 2010) y pueden ser tanto sistemas de ecuaciones, como prototipos, maquetas, mapas, diagramas o conjuntos de oraciones.

⁴ Esto hace referencia a un conjunto de axiomas interpretados empíricamente.

Según el estructuralismo, la relación entre los modelos de una misma teoría es alguna clase de *morfismo*,⁵ mientras que para Giere tal relación es de similitud. La diferencia radica entonces en que para el estructuralismo la función es de satisfacción y para Giere es de representación (Guerrero, 2010).

Este interés en los modelos, desde diferentes perspectivas de la filosofía de la ciencia, ha influido en muchos y muy diversos campos. Los modelos son de gran importancia para la formación académica del científico, sin embargo, no son del uso privativo de éste. Los encontramos en cualquier intento sistemático de relacionarnos con objetos de la realidad. Los modelos teóricos son sistemas idealizados, son entidades socialmente construidas, no tienen más realidad que la que le confiere la comunidad en la cual fueron creados. En términos de Giere (1992), los modelos funcionan como representaciones, son los medios con los que los científicos representan el mundo tanto para sí mismos como para los demás. Para este autor, las hipótesis teóricas tienen como función principal establecer relaciones entre el modelo y el sistema real –los fenómenos–; estas relaciones son de semejanza, de tal manera que las hipótesis teóricas permiten el ajuste entre los aspectos del modelo y las características del fenómeno, es decir, determinan en qué aspectos se parecen y, a su vez, son susceptibles de ser corroboradas o refutadas parcialmente.

Para Giere una teoría está constituida por una familia de modelos, los cuales están relacionados no mediante relaciones lógicas sino de semejanza. Al igual que se dan relaciones de semejanza entre los modelos también se dan entre la teoría y la realidad. En otras palabras, la relación entre los modelos y el mundo no es la verdad, ni la correspondencia, ni el isomorfismo, es la semejanza. Una hipótesis teórica afirma la existencia de semejanza entre un cierto modelo teórico y un sistema real designado. La semejanza debe limitarse a un conjunto específico de aspectos y grados.

⁵ Relaciones de equivalencia entre el modelo y la realidad.

Giere (1992) propone que es posible usar cualquier lenguaje lo suficientemente rico para hablar del contenido de cualquier ciencia. Una teoría, expresada como un conjunto de acciones en lenguaje formal, tiene un conjunto de estructuras que son modelos de esa teoría. No obstante, los modelos son entidades no lingüísticas y pueden ser caracterizados de múltiples formas y emplear lenguajes diferentes. Esto permite identificar la teoría, no con una forma lingüística en particular, sino con un conjunto de modelos que pueden admitir diversas formulaciones lingüísticas. El autor plantea que dar paso a lo lingüístico en la definición de una teoría enfoca la atención sobre los enunciados que definen la población de modelos y no sobre los modelos mismos. Así, Giere propone sustituir las definiciones por los modelos. Entiende una teoría como constituida por dos elementos: la población de modelos y las diversas hipótesis que vinculan esos modelos con sistemas de la realidad, de tal manera que lo encontrado en los libros de texto no es la propia teoría, sino enunciados que definen los modelos que son parte de la teoría.

El pragmatismo

Las distintas tendencias de la concepción semanticista son representacionistas; es decir, consideran que la relación entre los modelos con el mundo es de representación (o informativa), lo cual ha suscitado un debate entre los filósofos de la ciencia que sigue sin resolverse en la actualidad. Como crítica a esta concepción nació el pragmatismo, dentro del cual encontramos la tendencia de modelos como mediadores.

La perspectiva semanticista ha sido cuestionada respecto a la funcionalidad de la similitud propuesta por Giere; pues para Suárez (2004), la intencionalidad del usuario no está bien resaltada (o no es clara) en lo propuesto por Giere. No obstante, Giere abogó por una concepción basada en el agente (Giere, 2010), lo que para

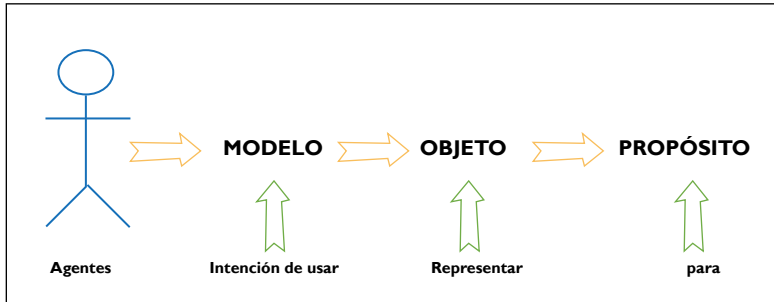
algunos significó una maniobra para rescatar el papel de la similitud en la representación científica. Él argumenta que existen trabajos precedentes que proporcionan bases sólidas para una visión intencional, tales como los de Wittgenstein, Grace y Lakoff, aunque se basa principalmente en los trabajos de Tomasello.

Ahora bien, Suárez también considera que la similitud no explica la representación, porque un modelo puede representar algo sin que se parezca a lo representado (al menos visualmente) y, finalmente, la similitud no es suficiente para la representación. Ya que, por ejemplo, una ecuación por sí sola no representa nada, a no ser que exista cierta intencionalidad del agente para relacionarla con algo del mundo. Al respecto, Gilbert y Justi (2016) añaden que la noción de similitud asociada a la semejanza, propuesta por Giere, es muy vaga y que implica naturalmente que los modelos poseen propiedades similares a las partes de algún fenómeno asociado a la apariencia visual, así que ¿una ecuación matemática en el tablero podría representar un modelo de un fenómeno? Para Suárez (2003) la respuesta sería no, pues una ecuación escrita en cualquier lugar no es similar a ninguna parte del fenómeno que representa.

De acuerdo con Knuuttila (2011), algunos filósofos semantistas han supuesto que hay una relación directa entre realidad y modelo, lo cual cuestiona al papel activo de lo que Knuuttila (2005) y Morrison y Morgan (1999) han denominado productores y usuarios de la representación; no obstante, otros filósofos reconocen el rol del sujeto y su relación (no directa) con la representación (Giere, 2004; Suárez, 2003). En otras palabras, la perspectiva semanticista se reivindicó cuando Giere en el 2010 escribió que una representación no puede ser sólo un asunto de similitud entre el modelo y la cosa modelada, sino que supone un agente intencionado. Y lo expresa así: “un agente (A) produce o usa un modelo (M) para representar una parte del mundo (W) con un propósito (P)” (véase figura 1). En pocas palabras, Giere estableció que los modelos no se representan por sí mismos, sino que la representación ocurre al

usar el modelo, lo que legitima el uso de la similitud como una relación básica entre los modelos y el mundo.

Figura 1. Concepción intencional de los modelos



Fuente: Giere, 2010.

Llegar a proponer la existencia de una relación triádica –agente, sistema real, representación– y no diádica –sistema real, representación– tiene implicaciones relevantes (Knuuttila, 2005; Gilbert y Justí, 2016) en la actividad y la educación científica: 1) se pueden producir modelos diferentes centrados en diversos aspectos de una realidad, y 2) diferentes agentes pueden utilizar el mismo modelo para distintos propósitos. En la actualidad, esto supone un giro epistémico en la noción de modelo; es decir, el modelo no se restringe a representar algo, sino a representar con un propósito. El enfoque triádico de la visión representacionalista de los modelos, propone que éstos funcionan como representación de su referente-objetivo en virtud de los usos cognitivos mediante los cuales las personas razonan con ellos. Así, la variedad pragmática en el uso de los modelos científicos facilita ciertas actividades cognitivas por parte del usuario, lo cual implica tener en cuenta intereses cognitivos, creencias o intenciones (Gelfert, 2017).

Dentro de tal variedad pragmática, encontramos la propuesta de Morrison y Morgan (1999) acerca de los modelos como mediadores, que plantea que éstos funcionan de manera autónoma. O sea, median entre realidad y teorías, donde el papel de la agencia

humana es fundamental. Esto significa que los modelos equivalen a nuestras teorías o formas de ver el mundo; además, que los modelos deben ser manipulados y usados por los agentes con distintos propósitos, como predecir fenómenos y construir conocimiento científico (Morrison, 2007, citado en Gilbert y Justi, 2016). Esta idea de modelos como mediadores fue retomada por Tarja Knuuttila para proponer el enfoque artefactual de los modelos, el cual será tratado con mayor detalle en la siguiente sección.

Finalmente, Suárez (2004) muestra que la representación está compuesta por dos elementos: su intencionalidad y su capacidad de permitir el razonamiento inferencial. Sobre este último, Suárez enfatiza que la representación es inferencial porque ayuda a producir nuevas representaciones o permite generar acciones para que los agentes dispongan de nuevos elementos para su interpretación y para derivar conclusiones acerca de los sistemas representados. Esto tiene importantes implicaciones en la didáctica de las ciencias, la primera referida a la intencionalidad, en cuyo caso consideramos que los estudiantes pueden usar los modelos para aprender y, la segunda, con relación al poder que los modelos pueden tener para que los estudiantes construyan a partir del razonamiento inferencial otros modelos que expliquen potencialmente mejor los fenómenos estudiados.

El enfoque artefactual de los modelos

Los modelos tienen un papel importante en la práctica científica. Sin embargo, parece que su rol en el aula ha sido descuidado o reducido a los conocimientos de dominio específico. Gilbert y Justi (2016) manifiestan que los significados que se le han atribuido a la palabra modelo, tanto en la literatura filosófica como en la psicológica, conducen a dos interpretaciones: los modelos como representaciones y los modelos como artefactos epistémicos. Nos interesa en esta parte centrarnos en el último y en su valor para la didáctica de las ciencias;

particularmente nos interesa ver no sólo su valor desde la construcción del conocimiento científico, sino desde otros tipos de conocimiento que puedan aportar al aprendizaje en el aula.

El enfoque artefactual considera aspectos del semanticismo y del pragmatismo. Sin embargo, realiza críticas importantes a este último, entre las que destacamos según Knuuttila (2005, 2011) y Gelfert (2017), que dicho enfoque:

1. Resalta tanto el papel del agente como su relación con los objetivos específicos, pero se descuida el contenido explicativo del modelo.
2. Parece priorizar algo descriptivo sobre la práctica científica en los modelos como mediadores, mas no se subraya esta capacidad del modelo mismo; es decir, se resalta principalmente el papel de los científicos.
3. Tiene el valor de proponer la idea del papel de los modelos como mediadores en la construcción del conocimiento, sin embargo, no deja claro cómo los modelos cumplen esta función.

Lo anterior destaca, entonces, la necesidad de considerar, además del contenido del modelo, el papel del usuario y las distintas funciones que éste pueda asignar a los modelos. Considerar los modelos como artefactos epistémicos valora las características funcionales de éstos; es decir, se pregunta más para qué sirven los modelos y no tanto por su estructura.

Al considerar los modelos como artefactos y no como representaciones, Knuuttila (2005) propone que éstos pueden apoyar nuestra imaginación sobre cómo pueden ser los objetos, comportarse e interactuar entre sí (Gilbert y Justi, 2016). Este *giro epistémico* en cuanto al uso de los modelos hace referencia a preferir su uso para construir conocimiento, más que para representar algo del mundo. Para Knuuttila, la modelización no se puede desligar de la construcción de nuevos fenómenos y procesos de conocimiento, es aquí donde los modelos adquieren valor epistémico.

El enfoque artefactual tiene su origen en la propuesta de Morrison y Morgan acerca de los modelos como mediadores. Es así como estos autores, junto con Suárez (1999), propusieron una vertiente pragmática que tiene en cuenta la multifuncionalidad de los modelos en la que éstos son considerados como “representantes” y no “representaciones” de una realidad, que pueden servir según Morrison y Morgan (1999, p. 33), entre otras cosas para:

1. Construir o corregir una teoría o para explorar procesos en los que nuestras teorías no dan buenas explicaciones.
2. Explorar o experimentar una teoría ya existente.
3. Investigar otros modelos.

A todo lo anterior, Knuuttila y Voutilainen (2003), Knuuttila (2005, 2011) y Knuuttila y Boon (2009) añadieron o enfatizaron la materialidad de los modelos que, desde este punto de vista, son considerados como herramientas artificiales o cosas intencionalmente construidas por el hombre para distintos usos.

Lo anterior nos lleva a focalizar la atención en la naturaleza compleja y multifuncional de los modelos, poniendo especial cuidado en las funciones epistémicas de éstos, en las que juegan un papel importante la construcción, la manipulación y el uso de ellos (Nia y De Vries, 2017). Al respecto, Knuuttila (2005) propuso que los modelos inherentemente están “para” ocupar el lugar de “algo” porque son multifuncionales, lo cual permite derivar otras funciones, complementarias a aquellas procedentes de la perspectiva representacional, dentro de ellas podemos mencionar, según Knuuttila (2005), Knuuttila y Boon (2009), Weisberg (2007) y De Vries (2013), tales como ser:

- Objetos investigados por derecho propio.
- Mediadores o puentes entre teoría y datos.
- Puentes para aprender sobre los fenómenos del mundo real.
- Representaciones de un dispositivo o de su funcionamiento.
- Apoyo para el desarrollo de nuevos sistemas o productos.

El enfoque artefactual propuesto por Knuuttila expone que los modelos científicos permiten al agente producir conocimiento, de ahí que ellos fungan como artefactos, además, pueden ser interpretados como cuerpos materiales y objetos funcionales. En esta perspectiva, el usuario, o el agente humano, adquiere un papel importante en la construcción de la representación. Autores como Suárez (2004), Knuuttila (2005, 2010), Gilbert y Justi (2016) y Gelfert (2017) han tratado de mostrar algunas críticas al representacionalismo, entre las que encontramos:

1. Descuida el papel de la agencia humana y el propósito frente a su construcción y uso.
2. Restringe los medios de representación real con los que los científicos continúan representando.
3. Se pregunta por la “representación de” en lugar de la “representación para”.

Knuuttila (2005, 2010) propone un enfoque no representacionista de la representación, que sugiere dejar de ver los modelos sólo como representaciones y lograr reconocer sus distintas funciones en cuanto a su uso, producción, construcción de conocimiento e interacción con el mundo. Considerar el modelo tanto en lo que representa como en lo representado no significa desconocer su naturaleza representacional; sin embargo, poner la atención en el modelo como artefacto asigna valor a los modelos en cuanto a su potencialidad en la construcción del conocimiento científico.

En la actualidad parece ser que los estudios en filosofía de las ciencias se han orientado hacia esta concepción artefactual de los modelos, haciendo énfasis en comprender cómo los mismos modelos nos permiten aprender sobre la construcción y manipulación de éstos.

En el ámbito de la didáctica, apenas se inicia esta discusión frente a la función de los modelos como artefactos de conocimiento en el aula, de la cual interesa reconocer los procesos mediante los cuales los estudiantes –por medio de los modelos– pueden

acceder a nuevos conocimientos y modelos sobre los fenómenos estudiados.

De las perspectivas dominantes descritas a lo largo de la discusión filosófica, podemos derivar diversos cuestionamientos en torno a su aplicación en el aula, que pueden orientar las investigaciones en la actualidad: ¿Cuáles funciones de los modelos aportan más al aprendizaje? ¿Qué tipo de cosas son los modelos y cómo nos permiten construir conocimiento? ¿Cuál es el alcance de una perspectiva artefactual de los modelos en el aprendizaje? ¿Cómo orientar procesos de enseñanza de las ciencias desde una perspectiva artefactual de los modelos científicos estudiados? ¿Cuáles son las ventajas de asumir una perspectiva artefactual sobre una predominantemente semantista para la didáctica de las ciencias?

LOS MODELOS COMO ARTEFACTOS DE CONOCIMIENTO EN EL AULA

Dentro de las múltiples funciones que tiene un modelo, la representacional es de especial importancia en procesos de enseñanza y aprendizaje. Aprender acerca de los fenómenos del mundo involucra construir alguna clase de representación, de tal manera que el fenómeno y su representación (el modelo, por ejemplo) están imbricados. Si bien hay desarrollos teóricos y empíricos valiosos en cuanto al estudio de las representaciones en los procesos de aprendizaje, se requiere refinar nuestra comprensión en cuanto a su uso en la construcción de conocimientos.

Para Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009), de los modelos semanticistas el de Giere es el más sugerente para la actividad científica escolar, debido a que es flexible y riguroso, a la vez, para el trabajo en el aula. Para estos autores, los ‘modelos científicos escolares’ ayudan a los estudiantes a entender el funcionamiento del mundo a través de ideas abstractas; además de que éstos no son tan alejados de las concepciones alternativas que traen los estudiantes

a la escuela (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009; Izquierdo-Aymerich, 2000).

Hay evidencias importantes sobre el uso de modelos por parte de los niños desde temprana edad (Gilbert y Boulter 2000). Desde la perspectiva del National Research Council, los modelos pueden actuar como “esquemas interrogativos” en conjunto con las diversas experiencias vividas por los estudiantes (NRC, 1996).

Los modelos son esquemas o estructuras que corresponden a objetos reales, eventos o clases de eventos, y tienen poder explicativo. Los modelos ayudan a los científicos e ingenieros a entender cómo funcionan las cosas. Los modelos toman muchas formas, incluyendo objetos físicos, planes, constructos mentales, ecuaciones matemáticas y simulaciones computacionales (NRC, 1996, p. 117).⁶

Los principales enfoques relacionados con la función representacional de los modelos (Larragaña, 2009; Knuuttila, 2005, 2011), los cuales hemos presentado durante el desarrollo del capítulo, son: *a*) los que enfatizan en la dimensión estructural de la representación, es decir, si la relación modelo-realidad es de isomorfismo u homomorfismo; *b*) los que incorporan al usuario del modelo, y *c*) los que enfatizan la funciones interventiva y epistémica de los modelos. Es la última corriente la que nos interesa destacar, en función de comprender el papel de los modelos como artefactos de conocimiento en el aula; para ello un interrogante orientador es: ¿cómo los estudiantes pueden usar sus modelos –desde una perspectiva multidimensional–⁷ para construir conocimiento, para aprender?

⁶ Original, en inglés: “Models are tentative schemas or structures that correspond to real objects, events or classes of events, and that have explanatory power. Models help scientists and engineers understand how things work. Models take many forms, including physical objects, plans, mental constructs, mathematical equations and computer simulations” (NRC, 1996, p. 117).

⁷ Consideramos los modelos con distintas dimensiones: epistemológica, ontológica, cognitivolingüística y emotivoafectiva.

Los modelos cobran sus características funcionales, su valor epistémico, cuando las personas construyen y manipulan sus propios modelos (Morrison y Morgan, 1999). En términos de Frigg (2002), un modelo, para ser fuente de conocimiento, debe ser *representativo*, lo que se ha visto un tanto limitado en las investigaciones educativas. En el aula, los estudiantes deben conocer sus modelos, revisarlos (manipularlos en términos de Morrison y Morgan) y evaluar los posibles cambios que éstos sufren gracias a los procesos de enseñanza. Sin embargo, es claro que el modelo, visto desde una perspectiva multidimensional, está constituido, además de por la dimensión epistémica, por la ontológica, la emotivoafectiva y la cognitivolingüística.

Considerar los modelos en el aula desde un enfoque artefactual posibilita otras formas de acceder al conocimiento; una de ellas, la de nuestro mayor interés, concibe los modelos no sólo como representaciones en sí mismas, sino como herramientas para aprender a través de los distintos registros de representación, formatos representacionales y de su carácter inferencial.

No obstante, la atención que ha recibido la investigación, la enseñanza y el aprendizaje desde la perspectiva de los modelos (Nia y De Vries, 2017), los desarrollos en cuanto a cómo los modelos funcionen como artefactos de conocimiento son aún incipientes (De Vries, 2013). Esto nos lleva a reflexionar, desde el ámbito de la didáctica, sobre la capacidad de los estudiantes para explorar sus propios modelos, reconocer su estructura y, principalmente, saber cómo usarlos para aprender; lo que necesariamente requiere de profesores que conozcan y orienten de manera adecuada procesos de enseñanza en la dirección señalada.

A partir de lo anterior, consideramos que los modelos se pueden usar para probar ideas, realizar cambios o ajustes a modelos existentes, resolver problemas, predecir fenómenos, reflexionar sobre sus estrategias de aprendizaje; es decir, usar modelos para aprender. Consideramos, así, que el aprendizaje desde un enfoque artefactual implica tener en cuenta, entre otros, los siguientes aspectos:

- Aprender a pensar con sus modelos, a comunicarlos y a usarlos para aprender de ellos.
- Expresar los modelos a través de distintos sistemas de registros y formatos representacionales.
- Desarrollar la capacidad de reconocer las potencialidades y limitaciones de sus modelos para explicar determinados fenómenos.
- Emplear los modelos de manera consciente e intencionada, en función de la solución de problemas.
- Considerar, desde la perspectiva multidimensional, cada una de las dimensiones de los modelos (epistémica, ontológica, emotivoafectiva y cognitivolingüística) como artefactos de conocimiento en el aula.

Lo anterior nos lleva a proponer y asumir una perspectiva artefactual, transpuesta al aula de clase, como teoría que fundamente el aprendizaje en el aula de ciencias, lo cual podría constituirse en una línea fructífera de investigación en didáctica de las ciencias que avance desde las posturas estructurales de los modelos hacia una funcional.

APORTES DE LAS CIENCIAS COGNITIVAS A LA DISCUSIÓN SOBRE MODELOS

En el proceso de construir representaciones, bien sean acerca de fenómenos cotidianos o de carácter científico, social, cultural, etcétera, es fundamental la experiencia. Y es ésta, precisamente, la que hace que nuestro sistema cognitivo fije –inicialmente en nuestra memoria de trabajo, y luego consolide en la memoria a largo plazo– aquello que habrá de recordarse posteriormente como representación del fenómeno.

Los procesos mediante los cuales se fijan y consolidan recuerdos, así como la manera de recuperarlos están bien estudiados (Kandel,

2007; Orrego y Tamayo, 2016). La forma en que están almacenados y representados estos recuerdos en nuestra estructura cognitiva, la manera en que se procesa la información, cuáles son los procesos que articulan la recuperación con la producción, cuál es su susceptibilidad al cambio con el tiempo y cómo se relacionan los recuerdos con las emociones, etcétera, son procesos en los cuales los desarrollos son aún muy hipotéticos.

En este proceso de construcción de representaciones, una de las principales fuentes deriva de la interacción visual que tenemos con el mundo, ésta es de especial importancia en la didáctica debido a que el anclaje en esta mediación sensitiva es una constante fuente de errores cuando nos referimos al dominio de los conocimientos científicos (Bachelard, 1994). Nuestra experiencia con el mundo físico que nos rodea emplea, además de lo visual, lo auditivo, lo táctil, lo propioceptivo y lo kinestésico. Y todos ellos son, en su interacción, responsables de la construcción de representaciones sobre el mundo físico. En otras palabras, nuestros sistemas sensorio-perceptuales nos permiten la construcción de representaciones internas acerca del mundo; así, dichas representaciones, y su dinámica propia, son responsables de nuestra interacción con el mundo.

La experiencia que aporta a la construcción de representaciones también puede provenir de la actividad mental, intelectual e imaginativa de las personas. Podemos construir representaciones a partir de actos del pensamiento que vuelven sobre experiencias actuadas y pensadas en el pasado, o del presente y, más aún, podemos construir representaciones sobre ficciones. Si bien en la construcción de representaciones, el mundo físico es importante, también lo es el mundo de lo mental; por lo que es esa unidad mente-cuerpo la que en última instancia nos permite desempeñarnos en los diferentes contextos en los que despluguemos nuestras acciones (Cassirer, 1998).

Son muchas las tensiones conceptuales en torno a las representaciones, a continuación, enunciamos algunas de ellas:

- Encontramos en la literatura quienes defienden posturas mentalistas, cognitivistas y aquellos que prefieren la vertiente sociocognitiva (Tamayo y Sanmartí, 2003).
- Una de las polémicas que más ha atraído la discusión en el tema de las representaciones, es la protagonizada por dos aproximaciones encontradas en cuanto a su origen. Una de ellas, la cognitivista, las considera como constituyentes de los sistemas cognitivos de los individuos; la otra, la que defiende la cognición situada, considera que las representaciones son construidas según los contextos y procesos de interacción en los que participan las personas. Así, los defensores de esta segunda vertiente abogan por una idea de que las representaciones son construidas en el momento en que son usadas (Solomon, 2001).
- Si las representaciones son construidas por los individuos o si son construcciones sociales que luego son internalizadas por ellos, ha sido otro campo importante de las disputas. Los aportes en este caso provienen de seguidores de las vertientes piagetiana y vygotskiana (Pozo, 1989).
- En relación con la anterior tensión, si la llevamos de manera específica a la construcción de conceptos, encontramos a los que argumentan a favor de su representación en ciertas estructuras cognitivas sucesivas y cada vez más abstractas –representaciones que luego son recuperadas para ciertos propósitos– y a quienes lo hacen a favor de un proceso de construcción y reconstrucción gradual de ellos (Tamayo, 2009; Tamayo y Sanmartí, 2003).
- En el contexto de la construcción de conocimiento científico escolar es fundamental el papel jugado por las emociones. Históricamente ha habido una marcada orientación por procesos centrados en la racionalidad propia de la ciencia aprendida. Con los aportes de Sinatra y Pintrich (2003), se consideró determinante en el aprendizaje de las ciencias la incorporación de la dimensión emocional. Esta distinción

entre procesos fríos y cálidos en la construcción de representaciones marca una diferencia y en la actualidad orienta transformaciones importantes en la enseñanza de las ciencias.

- El marcado énfasis histórico en la racionalidad de la ciencia en el momento de ser aprendida, llevó a un auge importante centrado en la lógica disciplinar (unidimensional) en el estudio de las representaciones en los estudiantes (Tamayo, 2009). Según el autor, acercamientos multidimensionales en la construcción de representaciones por parte de los estudiantes, no sólo permiten asumir una visión más humana de la ciencia sino, además, son más coherentes y consistentes con los actuales desarrollos de las ciencias cognitivas en los que se enfatiza la unidad razón-emoción.
- Por último, está la tensión del estudio unidimensional de las representaciones, con aportes desde los campos de la psicología y de la didáctica, frente a su estudio multidimensional. En el estudio de las representaciones en perspectiva multidimensional la incorporación de desarrollos provenientes de campos como la lingüística, la semiótica, la inteligencia artificial, las neurociencias, la psicología social, entre otros, ha permitido una mejor comprensión acerca de la construcción y cambio de las representaciones. Sin embargo, el marcado énfasis en la dimensión conceptual en algunas vertientes de investigación, así como en la enseñanza, ha dificultado el acercamiento multidimensional a su estudio (Tamayo, López y Orrego, 2017).
- Las representaciones pueden ser internas, externas, sociales, individuales, colectivas, icónicas, simbólicas, analógicas, digitales, entre otras. De ellas, son de interés en este documento las internas y dentro de éstas los modelos mentales.

La idea de los modelos mentales está asentada en dos elementos fundamentales. El primero es que las personas construyen representaciones mentales de la realidad y, el segundo, que la cognición y el aprendizaje tienen una importante relación con el uso de tales

representaciones (Seel, 2006, citado en Ocampo, 2017). Consideramos, inicialmente, los modelos mentales como representaciones internas que guían el pensamiento y la acción de los sujetos. Su uso nos permite integrar o relacionar la información que tenemos en nuestra mente con la información suministrada por los órganos de los sentidos; de tal forma que son fundamentales tanto en lo relacionado con la cotidianidad de las personas, como en lo referido al desempeño académico y profesional. En su construcción influyen la percepción visual, la comprensión del discurso, el razonamiento, la representación del conocimiento y la experiencia. Están limitados, a su vez, por los conocimientos técnico-científicos de la persona, por su experiencia previa, por la forma cómo procesa la información y por aspectos motivacionales frente al contexto en que se construya el modelo mental. Es en ese proceso de interacción con el medio, con los otros y con los artefactos tecnológicos, que construimos los modelos mentales internos (Norman, 1983). Y, siguiendo con este autor, son tres los aspectos centrales en la funcionalidad de los modelos mentales, estos son:

- *El sistema de creencias.* El modelo mental de una persona debe reflejar sus creencias sobre el sistema, bien sean adquiridas por la observación, la instrucción o la inferencia.
- *La observabilidad.* Debe existir correspondencia entre los parámetros y estados del modelo mental accesible a la persona y los aspectos y estados del sistema físico que la persona puede observar.
- *El poder predictivo.* El objeto de un modelo mental es permitir a la persona comprender y explicar los sistemas (físicos y sociales) con los que interactuamos continuamente y anticipar y predecir sus comportamientos.

Los modelos mentales que tienen los individuos en un campo del saber determinado no tienen que ser técnica y científicamente correctos. Para muchas personas es suficiente que el modelo que tienen les permita traducir ciertas observaciones (representaciones

simbólicas) en acciones o encontrar cierta correspondencia entre sus modelos y los eventos externos. En este mismo sentido, es importante destacar que los modelos mentales son dinámicos, evolucionan permanentemente al interactuar con el contexto. Son, además, incompletos, inestables, inespecíficos y parsimoniosos. Independientemente de estas características, los modelos mentales pueden ser usados de forma adecuada y su funcionalidad y potencia predictiva requieren, según Norman (1983), Johnson-Laird (1983) y Vosniadou y Brewer (1992, 1994) de:

- La traducción del sistema externo, sus componentes y procesos, a una representación interna de éstos, en términos de palabras, signos, números, etcétera.
- Construcción de otros símbolos, mediante un proceso inferencial, a partir de la primera representación, de esta forma se obtiene una segunda representación mental del sistema externo.
- Poner en funcionamiento esta segunda representación mental de tal manera que permita la predicción del comportamiento del sistema en situaciones externas diferentes a la inicial.

Desde esta perspectiva, los modelos mentales son construcciones hipotéticas que realiza el sujeto para explicar o comprender un suceso, bien sea físico o social. Estas construcciones hipotéticas pueden diferir marcadamente en su contenido, mas no en su formato representacional o en el proceso en que las personas las construyen y manipulan.

El estudio de los modelos mentales surge como alternativa a explicaciones provenientes de la psicología cognitiva, en las que se pretendía explicar las maneras de operar de las personas a partir de las representaciones. Se destacan dentro de ellas, la teoría de los esquemas (Rumelhart y Ortony, 1977), los cuales son más generales y abstractos que los modelos; los guiones (Shank, 1999; Shank y Abelson, 1987), las diversas teorías sobre los conceptos y su

relación con los procesos de categorización (Pozo, 1989; Murphy, 2004). Dos aspectos comunes de estos desarrollos son su énfasis en el sujeto y el carácter estático de las representaciones, lo cual no permitía explicar la manera en que operan las personas en su cotidianidad (Ocampo, 2017); ello, en virtud de que las personas emplean diferentes representaciones, según los contextos en los que se encuentren, aspectos que en los desarrollos contemporáneos se constituyen en fundamentales (Hallden, Scheja y Haglund, 2013; Pozo, 1993).

El auge actual de la línea de investigación sobre modelos y modelización en la didáctica de las ciencias reside, en parte, en el poder explicativo y predictivo de los modelos. Además, para emplearlos, no se requiere de desarrollos lógicos ni notaciones matemáticas específicas. El razonamiento con modelos no es exclusivo de la especie humana, filogenéticamente se ha constituido en una condición de sobrevivencia y, en tal sentido, es útil en la cotidianidad de los sujetos. Los modelos sirven para representarnos el estado de las cosas, además de probar conclusiones una vez que se “ponga a rodar” cierto modelo.

Un aporte determinante en el estudio de los modelos mentales proviene de Craik (1943). El autor considera los modelos mentales como análogos estructurales, funcionales y comportamentales de una situación del mundo real o imaginario, de un evento o de un proceso. Análogo, en la medida en que mantiene limitantes propias por ser una representación. El amplio poder explicativo de los modelos mentales, los cuales no requieren desarrollos matemáticos sofisticados ni desarrollos lógicos elaborados, explica el amplio uso que la gente hace de ellos. Los modelos mentales también se caracterizan porque tienen información concreta acerca de lo representado; los procesos mentales subyacentes al razonamiento son semánticos y no sintácticos, debido a que son análogos de la situación que representan; como representaciones que son, los modelos dan cuenta del mundo, sea éste real o imaginario, es decir, son más específicos. Además, nos informan del dinamismo de la actividad

cognitiva de los sujetos y son útiles para la resolución de problemas, tanto en dominios específicos del conocimiento, como en aquellos relacionados con la vida cotidiana. Surge aquí la discusión en cuanto al isomorfismo entre los modelos y la realidad que ellos modelan, aspecto discutido en páginas anteriores.

Diferentes perspectivas en el estudio de los modelos son claras en la actualidad: la primera, seguida por Johnson-Laird (1983), introduce la noción de los modelos mentales para explicar el efecto de la información semántica en el razonamiento lógico y, de manera particular, en el razonamiento inferencial. La segunda introduce la noción de los modelos mentales para explicar los hallazgos empíricos relacionados con la comprensión del discurso; al parecer frente a una situación la gente construye explicaciones racionales a partir de una representación de la estructura de la circunstancia más que por su descripción (Nersessian, 2008). Estas dos perspectivas ponen el acento en la naturaleza de la representación construida en la memoria de trabajo durante el razonamiento y la solución de problemas. Una tercera perspectiva, seguida por Gentner y Stevens (1983), vincula la noción de modelo mental con la realización de representaciones en la memoria a largo término. Este énfasis de la modelización mental centrada en procesos de razonamiento y su relación con la memoria a largo plazo nos puede aportar acerca de la naturaleza de los procesos de almacenamiento de representaciones que están en la base de los procesos de razonamiento y de la comprensión de los fenómenos (Nersessian, 2008). También se ha considerado el estudio de los modelos en perspectiva computacional, en la cual se conciben procesos inductivos, deductivos y abductivos (Ocampo, 2017).

Dado el interés de este capítulo, nos centraremos en adelante en aquellas representaciones referidas a conocimientos científicos aprendidos en las aulas de clase. Para tal propósito, son de especial interés las ideas previas (concepciones), los modelos (conceptuales, explicativos y mentales) y las maneras como son empleadas en los procesos de razonamiento y de aprendizaje. Debido a nuestra

orientación nos referiremos de manera específica a dos problemas centrales en cuanto a la construcción y uso de modelos en el aula de clase. El primero referido al problema de la fragmentación-coherencia en torno a la construcción de explicaciones en ciencias. El segundo, en cuanto a la construcción de modelos mentales que incorporen las dimensiones epistemológica, ontológica, cognitivo-lingüística y emocional.

Es decir, reconocer que los modelos con los cuales interactuamos con el mundo no son sólo de naturaleza disciplinar, son modelos que en su construcción incorporan, además de lo conceptual, asuntos personales y contextuales. Más precisamente, pensamos y actuamos con modelos que imbrican usos de lenguajes, emociones, conceptos, prácticas, experiencias e intereses.

En cuanto a si en nuestra interacción con el mundo, nuestros pensamientos tienen cierto grado de coherencia (Vosniadou, 2013) o si, por el contrario, son fragmentados (DiSessa, 2013), es una discusión que en las últimas dos décadas ha permeado no sólo las ciencias cognitivas sino, de manera significativa, la didáctica de las ciencias (Tamayo, 2016). Los trabajos de investigación iniciales sobre ideas previas y concepciones alternativas (Driver, 1985; Viennot, 1979; Furió, 1996) y tres décadas de impacto en la comunidad de la didáctica de las ciencias describieron las ideas previas de los estudiantes en un amplio espectro de los diversos campos de conocimiento y en los distintos niveles de la educación.

La diferenciación entre idea previa y modelo es ya determinante en nuestra discusión. La distinción central sobre la que llamamos la atención hace referencia, precisamente, al concepto de coherencia. Quienes defienden la idea de la existencia de ciertas estructuras cognitivas organizadas (véase figura 2) van desde los modelos explicativos (Greca y Moreira), las teorías marco (Vosniadou y Brewer, 1992, 1994; Vosniadou, 2008, 2013), las teorías implícitas (Pozo, 1989) y los perfiles conceptuales (Mortimer), a los modelos mentales (Gutiérrez, 1996; Greca y Moreira, 1998; Gilbert, 1997). Todos coinciden en defender, de alguna manera, la existencia en el

sujeto de ciertas formas organizadas a partir de las cuales se refieren a los conceptos estudiados y resuelven problemas con ellos. Que un modelo tenga componentes (entidades), relaciones y dinámica, hace posible que, frente a cierta situación, el estudiante recurra a dicha organización para referirse a tal situación.

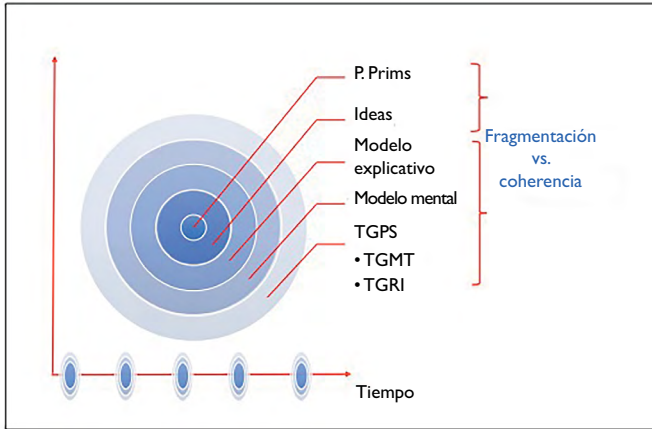
Una reflexión similar podemos adelantar si nos ubicamos en los supuestos epistemológicos y ontológicos que constituyen las teorías marco (Vosniadou y Brewer, 1994; Vosniadou, 2013). En síntesis, quienes se ubican en la perspectiva de la coherencia abogan por cierta regularidad, cierta estructura, en el pensamiento y en la acción de los sujetos.

Quienes defienden la idea de la fragmentación sostienen que el sistema de conocimiento está constituido por elementos simples, no estructurados, los cuales se organizan al interpretar las realidades físicas estudiadas (DiSessa, 2013). Estos elementos simples, denominados primitivos fenomenológicos (*p-prims*) se constituyen en las ‘piezas’ con las cuales pensamos. De acuerdo con Kapon y DiSessa (2012), el tamaño de las ‘piezas’ permite caracterizar las diferencias en los estudiantes y la manera en que influyen éstas en el aprendizaje.

De las dos perspectivas dominantes descritas de manera somera, podemos derivar diversos cuestionamientos: pensar con ideas sueltas, no estructuradas, ¿es pensar con ‘piezas’? ¿Hay un proceso gradual en el paso de los *p-prims* a las ideas o a los modelos? ¿Se refieren estas dos perspectivas a procesos de aprendizaje diferentes? ¿Son dos momentos del aprendizaje que pueden ser complementarios? ¿Tienen igual potencia las dos perspectivas en la autogestión del aprendizaje? La figura 2 representa una transición hipotética desde los *p-prims* a los modelos y a las teorías.

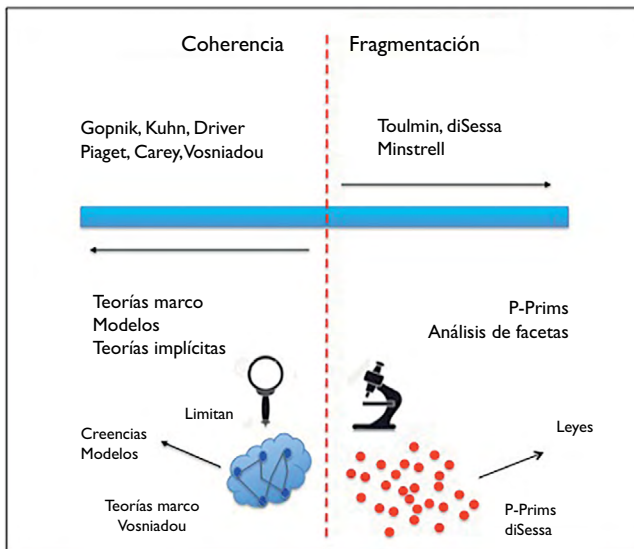
La figura 3 ubica el pensamiento fragmentado del lado de los *p-prims* y las ideas previas y el pensamiento coherente cuando se hace referencia al pensamiento con modelos y teorías.

Figura 2. Modelo que representa la transición hipotética desde los *p-prims* a la Teoría General de Procesos y Sistemas (TGPS), con sus componentes: la Teoría General de Modelos y Teorías (TGMT) y la Teoría General de Representaciones e Interpretaciones (TGRI) (Vasco, 2013)



Fuente: Tamayo, 2018.

Figura 3. Representación de las perspectivas de Vosniadou y diSessa en cuanto a sus propuestas que explican el aprendizaje como cambio conceptual



Fuente: Tamayo, 2018.

Para Vosniadou, las personas emplean teorías-marco para relacionarse con el mundo. Para DiSessa, emplean *p-prims*, a partir de los cuales hacen referencia al conocimiento ‘por piezas’.

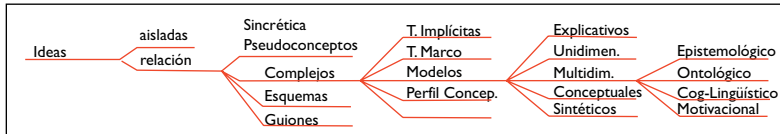
El segundo aspecto, además del referido al problema de la coherencia-fragmentación de las representaciones espontáneas antes discutido, es el concerniente a la construcción y uso de modelos mentales, tópico al que nos referiremos a continuación. Una característica común de las investigaciones enfocadas a caracterizar las ideas previas y los modelos de los estudiantes en diversos campos de conocimiento fue, y sigue siendo para muchos investigadores, el énfasis en el conocimiento declarativo sobre el fenómeno estudiado. Si bien, saber qué saben los estudiantes es importante, en función de procesos orientados al logro de aprendizajes profundos (Ramírez y Tamayo, 2011; Biggs, 1999), también lo es saber cómo piensan y cómo resuelven problemas en los diversos campos del conocimiento. Desplazar el énfasis hacia la comprensión del funcionamiento de los modelos y no mantenerse en la descripción de las ideas previas en los procesos de enseñanza y aprendizaje, ha sido el interés de un grupo importante de investigadores en didáctica.

De acuerdo con Tamayo *et al.* (2017), los estudios pioneros realizados desde la didáctica de las ciencias sobre las representaciones de los estudiantes, describieron en detalle –dependiendo de la perspectiva teórica de los investigadores–: las ideas previas, los modelos conceptuales, los modelos explicativos (Tamayo, 2009); los perfiles conceptuales (Mortimer, Scottt, Ribeiro y El-Hani, 2014); los modelos científicos escolares de partida y de arribo (López y Mota y Moreno-Arcuri, 2014) de los estudiantes en diferentes campos del conocimiento (véase figura 4). Si bien ésta ha sido en las últimas cuatro décadas una línea de investigación muy fructífera, consideramos que es importante diferenciar distintas perspectivas teóricas, dados los actuales desarrollos internos en el campo.

De especial interés en este capítulo es la diferenciación entre modelos unidimensionales y multidimensionales y el reconocimiento

de las dimensiones epistemológica, ontológica, cognitivolingüística y emocional en estos últimos (Tamayo y Sanmartí, 2007).

Figura 4. Representación de una posible secuencia de ideas-complejos-modelos



Fuente: Tamayo, 2018.

En primer lugar, consideramos que las ideas previas o concepciones alternativas (Furió, 1996) se refieren de manera específica al conocimiento declarativo de las personas acerca de un concepto o fenómeno determinado, con las características ya señaladas en la literatura (Tamayo, 2009). En el marco de las discusiones ya presentadas, las ideas previas pueden ser empleadas por los estudiantes de manera aislada, fragmentada o en forma tal que el estudiante relacione dos o tres ideas de manera coherente, lo que lo acercaría al uso de un modelo.

En segundo lugar, entendemos por modelos conceptuales aquellos construidos al interior de las comunidades académicas y por modelos explicativos aquellas comprensiones logradas por los individuos acerca de los modelos conceptuales. Tanto en unos como en otros se identifica cierta estructura del modelo, constituida por componentes, relaciones y dinámica (Vasco, 2013). La diferencia central que proponemos entre estos dos modelos es de orden racional: los conceptuales responden a la organización lógica de los campos disciplinares en los cuales son construidos y los explicativos son por naturaleza subjetivos, idiosincráticos, producto de la experiencia de los sujetos. Los modelos conceptuales en los distintos campos del conocimiento se constituyen en orientadores, desde la dimensión conceptual, de las actividades de enseñanza y aprendizaje propias de muchas estructuras curriculares. Por su parte, los

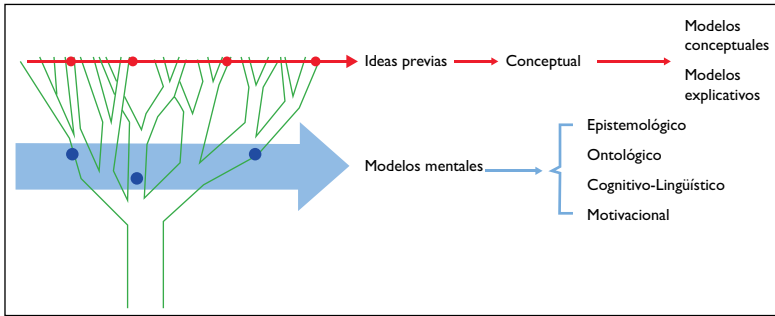
explicativos se constituyen en el punto de partida del proceso de enseñanza y aprendizaje, pues son los modelos con los cuales ingresan los estudiantes al aula de clase (véase figura 5).

En tercer lugar, proponemos la denominación de “modelo mental” para aquellas representaciones internas multidimensionales que incorporan las dimensiones epistemológica, ontológica, cognitivolingüística y emocional. Entendemos la dimensión epistemológica como aquella referida a la construcción de los conceptos o de las teorías por parte de los estudiantes. La ontológica hace alusión al conjunto de concepciones analógicas, inducidas y espontáneas de los estudiantes. La cognitivolingüística se refiere a los usos de lenguajes y a los procesos cognitivos empleados en la construcción de los modelos. La emocional alude a la implicación o no de intereses, motivaciones y emociones en el aprendizaje de los conceptos estudiados. Esta perspectiva en el estudio de los modelos mentales establece diferencias con otras reportadas en la literatura y referidas de manera específica a descripciones de naturaleza unidimensional (conceptual) de los conceptos o fenómenos estudiados (Tamayo *et al.*, 2017) (véase figura 5). A manera de ilustración y, siguiendo a los autores antes citados, un modelo mental de los ciclos día-noche desde la perspectiva clásica de modelo, incluye referencias a conceptos como órbita, ciclo, sol, tierra, gravedad, espacio, tiempo, etcétera. Desde nuestra perspectiva multidimensional, el modelo mental del ciclo día-noche, además de lo contemplado por la perspectiva clásica, incluye aspectos ontológicos, motivacionales, actitudinales, formas de razonamiento, usos de lenguajes, entre otros. En otras palabras, pensamos y actuamos con los modelos mentales que hemos construido a lo largo de nuestras vidas y no sólo a partir de las teorías y conceptos aprendidos en la escuela

Llamamos la atención sobre el énfasis en la dimensión conceptual (racional) presente en los estudios tradicionales que exploran las ideas previas de los estudiantes o sus modelos explicativos. Ello, por su diferencia con la modelización multidimensional que, además de

la perspectiva conceptual (epistemológica), incluye la ontológica, la emocional y la cognitivolingüística.

Figura 5. Representación de las perspectivas unidimensionales (en rojo) y multidimensionales (en azul) en el estudio de los modelos



Fuente: Tamayo, 2015.

Las ideas previas y los modelos explicativos de los estudiantes, así como los modelos conceptuales de las comunidades académicas, se centran en asuntos referidos a la racionalidad del conocimiento científico. Consecuencia de ello es que su aprendizaje en el aula se da, en términos generales (sin entrar a desconocer las múltiples perspectivas en el estudio del cambio conceptual) dentro de una misma ontología. El recorrido desde acercamientos unidimensionales a otros multidimensionales, nos permite lograr comprensiones profundas; no sólo de carácter disciplinar, acerca de los fenómenos estudiados en las aulas de clase. Ello hace posible ubicar los procesos de enseñanza en los modelos multidimensionales expresados por los estudiantes y orientar acciones hacia todas aquellas dimensiones que se pueden constituir en posibles obstáculos para el logro de aprendizajes profundos.

Los desarrollos teóricos presentados en las partes 2 y 3 de este capítulo, se centran en los aportes de la filosofía de la ciencia y de las ciencias cognitivas al estudio de los modelos. Una discusión no explorada hasta el momento, y que recoge estos dos campos de reflexión, se relaciona con la perspectiva desde la cual se

asumen los modelos, y en general las representaciones, en el aula de clase. Podemos, por una parte, describir las representaciones (imágenes, modelos mentales o representaciones proposicionales, Johnson-Laird, 1983) de los estudiantes frente a un fenómeno determinado, detallar su estructura, su contenido, o bien, por otra parte, centrar la atención en reconocer el valor y la función de las representaciones en torno a la construcción de nuevo conocimiento. Asumir un énfasis representacionalista en el estudio de los modelos mentales puede llevar a fijar la atención en asuntos relacionados con la información contenida en los modelos mentales; mientras que asumir una perspectiva pragmática en cuanto a las representaciones (modelos mentales) nos lleva a entender su dinámica en cuanto a la construcción de conocimiento. En consecuencia, una visión pragmática nos conduce a lograr mejores comprensiones sobre el aprendizaje, sobre el paso de un modelo a otro; no en cuanto a la información que los diferencia, sino en relación con los aspectos del modelo inicial que se constituyen en insumos, en mediaciones, en artefactos, para el logro de nuevas representaciones, de nuevos modelos mentales, es decir, de nuevos aprendizajes.

Proponer un acercamiento multidimensional, propio de los modelos mentales, y asumir dichos modelos como artefactos de conocimiento, nos plantea ciertas exigencias en la perspectiva del trabajo de aula:

- Los procesos de enseñanza y aprendizaje centrados en Modelos Mentales Multidimensionales (MMM) exigen la integración de perspectivas epistemológica y de las ciencias cognitivas.
- Considerar los MMM, como punto de partida para la enseñanza nos lleva a reconocer la naturaleza humana en el proceso de aprendizaje.
- Concebir el aprendizaje como el cambio o la evolución de los MMM es asumir una perspectiva cálida, contextualizada, en función del logro de aprendizajes profundos.

- El cambio o la evolución en los MMM exige establecer sinergias entre las diferentes dimensiones del modelo mental. Asimismo, cada dimensión del modelo mental se constituye en insumo, mediación, artefacto, para el cambio del MMM.
- El desempeño del profesor, cuando enseña a partir de los MMM de los estudiantes, exige orientar acciones dirigidas a las distintas dimensiones de los modelos mentales.
- Lograr coherencia en el uso de distintos MMM, implica diferenciar de manera consciente e intencionada distintos modelos explicativos con sus particularidades lingüísticas, de procesos de pensamiento y motivacionales. En otras palabras, el aprendizaje profundo exige, entre otros aspectos, el uso intencionado y consciente de diversos MMM que expliquen una misma realidad.
- La existencia de diferentes MMM que expliquen una misma realidad, nos ubica en la línea semanticista y, considerarlos como mediaciones (artefactos) en el aula de clase, nos conduce a reconocer la experiencia del sujeto como fundamental para el aprendizaje.
- Los diferentes componentes del MMM, su estructura y dinámica son mediadores potenciales en el paso de un modelo a otro, es decir, en el aprendizaje.

La interacción entre los componentes epistemológico y de las ciencias cognitivas en contextos de aula, al referirnos a los modelos mentales multidimensionales, nos brinda aspectos complementarios a los ya descritos en la literatura científica por las diferentes tradiciones investigativas. Aportes que se cristalizan en acciones de investigación y de enseñanza orientadas a comprender el papel de los MMM en el aprendizaje de los estudiantes, aspectos desarrollados en el siguiente apartado.

MODELOS Y MODELIZACIÓN EN LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

Uno de los campos de mayor relevancia actual en la didáctica de las ciencias lo constituye el estudio de las representaciones y el papel que éstas juegan en el aprendizaje de las ciencias por parte de los estudiantes. Y, de igual manera, lo son aquellos estudios que profundizan en los diferentes tipos de interacciones que se producen entre las representaciones de los estudiantes y las de los profesores. Nos interesa aquí centrarnos en el papel que juegan los modelos mentales de los estudiantes, como un tipo de representación (Johnson-Laird, 1983, 1991; Nersessian, 2008), en la identificación de los obstáculos frente al aprendizaje de conceptos en ciencias. Desde la perspectiva de Johnson-Laird el discurso sobre un modelo mental se basa en tres ideas centrales: *a)* un modelo mental representa el referente de un discurso, esto es, la situación que el discurso describe; *b)* la representación lingüística inicial de un discurso captura el significado de ese discurso, o sea, el conjunto total de situaciones que puede describir, y *c)* un discurso es juzgado como cierto si incluye como mínimo un modelo del mundo real.

El carácter funcional de los modelos mentales se evidencia en su capacidad predictiva, en la medida en que permite a las personas comprender y explicar los sistemas físicos y sociales con los cuales interactúan, así como anticipar y predecir su comportamiento. Los modelos mentales de las personas reflejan sus creencias sobre el sistema, en tal sentido, debe existir correspondencia entre el modelo mental construido por el sujeto y el mundo real al cual este modelo hace referencia. En este mismo sentido, es importante recordar, como ya mencionamos antes, que los modelos mentales son dinámicos, incompletos, inespecíficos, parsimoniosos y evolucionan al interactuar con el contexto.

Los estudios pioneros realizados sobre los modelos mentales desde la didáctica de las ciencias estuvieron orientados a conocer

cuáles eran las representaciones internas que tenían los alumnos en dominios específicos del conocimiento; tanto los que hacían referencia a conocimientos de orden intuitivo, como los adquiridos mediante la enseñanza. En la actualidad, la orientación básica en el estudio de los modelos mentales reside en comprender cuál es el proceso de construcción y de cambio de esas representaciones, qué clases de procesos determinan su uso y cuáles son los procesos mentales que permiten su creación. Ello implica reconocerlas, saber cómo están representadas en la mente, cómo son usadas por los sujetos para su razonamiento y cómo son empleadas por los profesores en función del logro de aprendizajes profundos en sus estudiantes.

El estudio de los modelos mentales en la enseñanza de las ciencias, además de su intencionalidad descriptiva, propone el uso de modelos como estrategia de enseñanza y de aprendizaje, lo cual ha conducido a una fructífera línea de investigación denominada, en términos generales, “enseñanza y aprendizaje basado en modelos” (Gilbert y Boulter, 2000; Clement y Rea-Ramírez, 2008; Nersessian, 2008), la cual tiene como propósito central lograr aprendizajes en profundidad en los estudiantes (Gilbert, Boulter y Elmer, 2000), determinar la validez de modelos expresados y lograr mejores comprensiones de los modelos históricos en los diferentes campos del saber a través de la enseñanza (Gilbert *et al.*, 2000). El uso de los modelos con estos fines se constituye en una estrategia para la cualificación de la enseñanza de las ciencias, la cual podría potenciarse a través de la identificación de los obstáculos frente al aprendizaje como puente entre los modelos mentales y las actividades de enseñanza. La identificación de los modelos mentales de los estudiantes tiene como propósito central reconocer los obstáculos que ellos tienen frente al aprendizaje de los conceptos enseñados por los profesores, de tal manera que se constituyen en punto de partida del actuar de los profesores en el aula.

Dentro de los tipos de representación enunciados por Johnson-Laird (1983), destacamos los modelos mentales, cuyo uso nos

permite integrar la información suministrada por todos los sentidos con la información proveniente del conocimiento general. Esta aproximación que realizamos en el conocimiento del mundo proviene tanto de lo que éste es, como de las ideas que tenemos de él; por lo que depende tanto de nuestro sistema nervioso como de nuestras experiencias. Es en este doble sentido que construimos nuestros modelos mentales sobre una realidad, bien sea externa o del ámbito de las ideas.

LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS Y LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS MENTALES

El concepto de “modelo mental” ha sido usado ampliamente para referirse al contenido de una representación mental en muy diversos dominios del conocimiento: el movimiento de los objetos (De Kleer y Brown, 1981), los circuitos eléctricos (Gentner y Stevens, 1983; Greca y Moreira, 1998), el sistema nervioso (Serrano, 1992), el magnetismo (Greca y Moreira, 1998), el cambio químico (Solsona, 1997; Gutiérrez, 1996).

Los estudios pioneros realizados sobre los modelos mentales desde la didáctica de las ciencias estuvieron orientados a conocer cuáles eran las representaciones internas que tenían los alumnos en dominios específicos del conocimiento, tanto los que hacían referencia a conocimientos de orden intuitivo como los adquiridos mediante la enseñanza. En la actualidad, la orientación básica en el estudio de los modelos mentales reside en comprender cuál es el proceso de construcción y de cambio de esas representaciones y conocer cómo son usadas por los sujetos para su razonamiento. El desconocimiento de estos aspectos dificulta que los estudiantes consigan transformaciones de las representaciones en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

En términos generales, en la enseñanza de las ciencias no se ha tenido como propósito central que los profesores construyan de

manera deliberada e intencional modelos mentales; esto es, las experiencias de enseñanza y aprendizaje en el aula no se han orientado de manera consciente e intencionada a que los estudiantes construyan diferentes modelos mentales de los fenómenos estudiados. La fuerte influencia de la enseñanza tradicional en la enseñanza de las ciencias naturales, en las que es frecuente encontrar, tanto en los libros de texto como en las intervenciones orales de los profesores, teorías como estructuras acabadas e inmutables, que son transmitidas a los estudiantes siguiendo rigurosos criterios lógico-deductivos, nos lleva a reconocer que históricamente no se ha propiciado la elaboración y transformación de modelos mentales en el contexto educativo.

De manera independiente al modelo de enseñanza empleado, que los alumnos comprendan los conceptos, las proposiciones, las analogías y los procedimientos experimentales, depende de la formación de modelos mentales; los cuales, según Pozo (1994), pueden tener tres orígenes: sensorial, cultural y escolar. Es necesario enfatizar en la importancia de que los estudiantes comprendan cómo conocemos las ciencias y qué conocemos de ellas. No es suficiente que conozcan los modelos como tales, es decir, no es suficiente la adquisición de conocimiento declarativo acerca de cómo funciona la ciencia, ni el conocimiento de información conceptual sobre los modelos que explican el enlace químico. Es necesario que los estudiantes tengan conocimiento acerca de cómo fueron construidos los mencionados modelos y por qué unos son más apropiados para realizar ciertas explicaciones que otros. Lo anterior implica que los estudiantes desarrollen la comprensión del conocimiento procedimental al interior del dominio de la ciencia que emplea los modelos.

Algunas de las tendencias más importantes en cuanto a la incorporación de los modelos y la comprensión de su funcionamiento en las aulas de clase son, según Erduran (2001), las siguientes:

- Los modelos han sido presentados a los estudiantes como versiones finales de nuestra materia de conocimiento. En

términos de Duschl (1997), enseñamos modelos definitivos, retórica de las conclusiones. Esto, en el ámbito de la química, nos lleva a reconocer, por ejemplo, que enseñamos copias de moléculas reales en lugar de representaciones aproximadas y tentativas de éstas. En este campo disciplinar, el empleo de los diferentes modelos existentes acerca de ciertos fenómenos químicos ha tenido como propósito fundamental señalar las diferencias entre unos y otros, lograr posibles cambios conceptuales e incidir sobre aspectos motivacionales en el proceso de enseñanza.

- Es frecuente encontrar que los libros de texto no establezcan claramente las diferencias entre los distintos modelos. En lugar de ello, suelen presentar modelos híbridos, tal como se muestra en el siguiente texto: “Ya que el NaOH es una base fuerte, el ion Na^+ es un ácido conjugado extremadamente débil; además éste no tiene ninguna tendencia para reaccionar con el H_2O para formar NaOH y H^+ ” (Carr, 1984, citado en Erduran, 2001, p. 588).⁸

El primer modelo está presente mediante una oración basada en el modelo de Arrenius para ácidos y bases. El segundo está expresado en términos del modelo de Bronsted-Lowry, aunque el énfasis sobre la ionización no es consistente con este modelo. En síntesis, es importante que los libros realicen preguntas acerca de cuándo y por qué se usa un modelo y en qué difiere un modelo de otro.

Los modelos han sido tomados como sinónimos de algo real. Son empleados generalmente como ayudas visuales y concretas que facilitan su aprendizaje. Desde esta perspectiva, han sido muy empleados para apoyar diferentes procesos de enseñanza-aprendizaje, donde juegan un papel importante las distintas representaciones

⁸ En inglés el original: “Since NaOH is a strong base, Na^+ is an extremely weak conjugate acid; therefore, it has no tendency to react with H_2O to form NaOH and H^+ ion”.

concretas empleadas por los estudiantes. La importante influencia de los planteamientos piagetianos en el ámbito de la educación, llevó a aplicar esta perspectiva en la cual se suponía que estudiantes que se encontraran en el estadio de las operaciones concretas requerían –para el aprendizaje de ciertos conceptos y teorías– el apoyo en modelos físicos. Dentro de los problemas señalados al respecto podemos mencionar los siguientes:

- Separar de manera inapropiada los aspectos conceptuales de las teorías o conceptos que se quieren representar, de aquellos otros referidos específicamente a la elaboración del modelo físico; desconociendo de esta forma que los modelos físicos están embebidos de teoría. En otras palabras, la sola existencia del modelo físico ya supone cierta concreción de ciertos modelos conceptuales.
- Considerar ciertos modelos químicos, por ejemplo, los átomos y moléculas, como modelos físicos, infravalora la diversidad y complejidad de los modelos en química.
- Emplear modelos físicos para la explicación, comprensión y comunicación de los fenómenos estudiados, lo que constituye una práctica cotidiana en el contexto de los químicos.

Es primordial destacar que en la construcción de modelos químicos es importante, pero no suficiente, la experimentación. En nuestros contextos educativos, en el mejor de los casos, recurrimos al laboratorio para la recolección de información o para la verificación de ciertas teorías; sin llegar a reconocer que la fase experimental, por sí misma, es insuficiente para la generación de modelos.

En términos generales, la enseñanza de las ciencias no ha estado orientada a favorecer la construcción de modelos mentales por parte de los estudiantes. Dada la fuerte influencia de la enseñanza tradicional en el área de las ciencias naturales, es común encontrar, tanto en los libros de texto como en las intervenciones orales de los profesores, teorías como estructuras acabadas e inmutables. Es frecuente hallar dentro de este enfoque tradicional la presentación de

leyes y fenómenos siguiendo rigurosos criterios lógico-deductivos. Estos dos aspectos resaltados hacen sólo referencia a la estructura de la ciencia enseñada, si a ellos añadimos los provenientes de la intervención didáctica característica de los enfoques tradicionales de la enseñanza, queda claro que históricamente no se ha favorecido en los alumnos ni el conocimiento ni la construcción, consciente y deliberada, de modelos mentales.

Algunos de los modelos propuestos en el campo de la química, así como en otras ciencias y campos disciplinares, no llegan a ser reconocidos en su tiempo mientras otros sí. De lo anterior se deriva la necesidad de conocer, tanto desde la perspectiva de los historiadores como desde la de los educadores en ciencias, cuáles son las razones para que ciertos modelos, teorías o explicaciones sean asumidas como verdaderas dentro de la comunidad científica. Para el caso específico de la química, se requiere profundizar en el conocimiento de los factores sociales, personales, epistemológicos, culturales, didácticos y químicos que pueden dar cuenta del cambio en la comprensión que históricamente han tenido los químicos sobre, por ejemplo, los modelos que explican el comportamiento de los ácidos y las bases, la estructura de la materia y el enlace químico, entre muchas otras temáticas.

De manera independiente del enfoque empleado para la enseñanza, sea este tradicional, tecnológico o constructivista, que los alumnos comprendan los conceptos, las proposiciones, las analogías y los procedimientos experimentales, depende de la formación de modelos mentales, originados bien sea a través de los sentidos, de la influencia cultural o producto de la enseñanza (Pozo, 1994).

Aprendizaje como evolución de modelos artefactuales multidimensionales

Considerar los modelos como artefactos de conocimiento en las aulas de clase se constituye hoy en una perspectiva potente para el estudio y el logro de una mejor comprensión de los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Desde esta perspectiva destacamos el valor del re-conocimiento de los modelos por parte del agente cognoscente, de manera consciente e intencionada. Que los modelos de los estudiantes sean mediaciones y a su vez artefactos de conocimiento y que en esta perspectiva los profesores los asuman se constituye, al menos hipotéticamente, en una fuente de posibles transformaciones de los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Frente a estos asuntos llamamos la atención sobre dos aspectos complementarios: el primero, en cuanto a asumir una perspectiva multidimensional en el estudio de los modelos en nuestras aulas de clase; y, el segundo, en cuanto a considerar el aprendizaje como un proceso evolutivo; aspectos desarrollados a continuación:

- Considerar que los modelos que los estudiantes tienen sobre los diferentes fenómenos enseñados, no responden estricta y exclusivamente a los principios y leyes científicas, es reconocer de alguna manera que la ciencia es de humanos y para humanos. Es aceptar que pensamos los modelos científicos teniendo en cuenta tanto al agente como al contexto en el cual se construye el modelo, tanto los principios científicos como las motivaciones de quien los aprende, tanto la experiencia del estudiante como sus habilidades cognitivolingüísticas puestas en juego en el proceso de aprendizaje.
- Pasar de una perspectiva unidimensional en el estudio de los modelos, centrada en la estructura lógica del concepto estudiado, a otra multidimensional, en la cual se entiende el modelo mental constituido tanto por la dimensión científica propia del campo de estudio, como por dimensiones

personales y contextuales, nos invita a asumir el aprendizaje como un proceso cálido.

- Considerar el aprendizaje como la evolución de modelos multidimensionales establece diferencias de fondo frente a aquellas perspectivas que tienen como propósito central mostrar el cambio en los conceptos como producto de procesos de enseñanza. Transitar de un interés orientado por conocer qué cambia en un proceso de aprendizaje, por saber cómo se da el cambio y, con esto, comprender el proceso de aprendizaje, nos propone retos investigativos importantes, tales como: ¿cuál es el aporte de cada una de las dimensiones de la perspectiva multidimensional de los modelos a la evolución de éstos en un proceso de aprendizaje? ¿Cómo interactúan las dimensiones epistemológica, ontológica, cognitivolingüística y motivacional al constituirse en un modelo multidimensional? ¿Cómo evoluciona cada una de estas dimensiones y cómo lo hace el modelo? ¿Cómo cada dimensión del modelo multidimensional se constituye a sí misma en artefacto de conocimiento? ¿Cómo enseñar y aprender a emplear los modelos y sus dimensiones, con intención y conciencia en función del logro de aprendizajes en profundidad?

Asumir una perspectiva evolutiva del aprendizaje en la cual los modelos multidimensionales sean concebidos como artefactos de conocimiento, nos abre nuevos caminos de investigación en las aulas de clase. Esto implica transponer al aula algunos de los desarrollos más valiosos de la perspectiva semanticista que explica las relaciones entre teoría, modelo y realidad; ya no en el ámbito de las comunidades académicas, sino en la interacción entre los profesores, los estudiantes y la ciencia escolar.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En este capítulo hemos presentado a nuestros lectores tres discusiones que tienen como propósito último considerar la posibilidad de concebir los modelos multidimensionales de los estudiantes como artefactos epistémicos en el aula de clase. Estas discusiones nos llevan a proponer un posible modelo que explique en detalle el aprendizaje, al menos desde tres criterios: *a)* asumir una perspectiva semanticista que nos permita mejores comprensiones de las relaciones entre teoría, modelo y realidad; *b)* defender un acercamiento multidimensional al estudio de los modelos; *c)* proponer y privilegiar una perspectiva de aprendizaje por evolución intencionada y consciente de modelos multidimensionales. Sin duda son muchos los retos que se avecinan. Invitamos a nuestros lectores a aportar con su experiencia e investigación al logro de mejores comprensiones de los procesos de enseñanza y aprendizaje, y, con ellas, a la transformación de nuestro quehacer en el aula.

REFERENCIAS

- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(3), 40-49.
- Ariza, Y., Lorenzano, P. y Adúriz-Bravo, A. (2010). Dificultades en la introducción de la “familia semántica” en la didáctica de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 6(1), 59-74.
- Bachelard, G. (1994). *La formación del espíritu científico*. México: Siglo XXI.
- Biggs, J. (1999). *Teaching for quality learning at university*. Buckingham, Inglaterra: Society for Research into Higher Education /Open University Press.
- Cassirer, E. (1998). *Filosofía de las formas simbólicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Clement, J. J. y Rea-Ramírez, M. A. (2008). *Model based learning and instruction in science*, EUA: Springer.
- Craik, K. (1943). *The nature of explanation* (1a. ed.). Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.

- Contessa, G. (2007). Scientific representation, interpretation, and surrogative reasoning. *Philosophy of Science*, 74(1), 48-68.
- Costa, N. da y French, S. (2000). Models, theories, and structures: thirty years on. *Philosophy of Science*, 67 (suplemento), 116-127.
- Díez-Calzada, J. A. (1997). La concepción semántica de las teorías científicas. *Én-doxa: Series Filosóficas*, (8), 41-91.
- DiSessa, A. (2013). A bird's-eye view of the "pieces" vs. "coherence" Controversy (from the "pieces" side of the fence). En S. Vosniadou (ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 31-48). Nueva York, EUA: Routledge.
- Driver, R. (1985). *Children's ideas in science: Milton Keynes*, Reino Unido: Open University Press.
- Duschl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid, España: Narcea.
- Erduran, S. (2001). Philosophy of chemistry. An emerging field with implications for chemistry education. *Science & Education*, 10, 581-593.
- Frigg, R. (2002). Models and representation: why structures are not enough. *Measurement in Physics and Economics Project Discussion Paper Series, DP MEAS 25/02*, London School of Economics. Recuperado de http://www.romanfrigg.org/writings/Models_and_Representation.pdf.
- Furió, C. (1996). Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique*, (7), 7-17.
- Gelfert, A. (2017). The ontology of models. En L. Magnani y T. Bertolotti (eds.), *Handbook of Model-Based Science*. Londres, Inglaterra: Springer.
- Gentner, D. y Stevens, A. L. (1983). *Modelos mentales*. Hillsdale, Nueva Jersey: Erlbaum.
- Giere, R. N. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, (71), 742-752.
- Giere, R. N. (2010). An agent-based conception of models and scientific representation. *Synthese*, 172(2), 269-281.
- Gilbert, J. K. (1997). Models in science and science education. En *Exploring models and modelling in science and technology education* (pp. 5-19). Londres, Inglaterra: University of Reading.
- Gilbert, J. K. y Boulter, C. (2000). *Developing models in science education*. Países Bajos: Kluwer Academic Publisher.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. y Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. En J. K. Gilbert y C. J. Boulter (eds.), *Developing models in science education* (pp. 3-18). Países Bajos: Kluwer Academic Publisher.

- Gilbert, J. K. y Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education*. Suiza: Springer International Publishing.
- Greca, J. y Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de la física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 289-303.
- Guerrero, G. (2010). La noción de modelo en el enfoque semántico de las teorías. *Praxis filosófica*, (31), 169-185.
- Gutiérrez, R. (1996). Modelos mentales y concepciones espontáneas. *Alambique*, (7), 73-86.
- Halden, O., Scheja, M. y Haglund, L. (2013). The contextuality of knowledge: an intentional approach to meaning making and conceptual change. En S. Vosniadou (ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 71-96). Nueva York, EUA: Routledge.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En F. J. Perales y P. Cañal (comps.), *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 35-64). Alicante, España: Marfil.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge, Massachussets, EUA: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1991). Mental models. En M. I. Posner (ed.), *Foundations cognitive science* (pp. 469-500). Cambridge Massachussets, EUA: The MIT Press.
- Kandel, E. R. (2007). *En busca de la memoria: el nacimiento de una ciencia de la mente*. Buenos Aires, Argentina: Katz Editores.
- Kapon, S. y DiSessa, A. (2012). Reasoning through instructional analogies. *Cognition and Instruction*, 30(3), 261-310.
- Kleer, J. de y Brown, J. S. (1981). Mental models of physical mechanism and their acquisition. En J. R. Anderson (ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 285-309). Nueva York, EUA: Hillsdale.
- Knuuttila, T. (2005). *Models as epistemic artefacts: toward a non-representationalist account of scientific representation*. Helsinki, Finlandia: Department of Philosophy, University of Helsinki. Recuperado de <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/hum/filos/vk/knuuttila/>
- Knuuttila, T. (2010). Not just underlying structures: towards a semiotic approach to scientific representation and modeling. En M. Bergman, S. Paavola, A. V. Pietarinen y H. Rydenfelt (eds.), *Ideas in action: proceedings of the applying Peirce Conference* (pp. 163-172). Helsinki, Finlandia: Nordic Studies in Pragmatism 1. Nordic Pragmatism Network.
- Knuuttila, T. (2011). Modelling and representing: an artefactual approach to model-based representation. *Studies in History and Philosophy of Science*, (42), 262-271.

- Knuuttila, T. y Boon, M. (2009). How do models give us knowledge? The case of Carnot's ideal heat engine. *European Journal for Philosophy of Science*, 1(3), 3019-334.
- Knuuttila, T. y Voutilainen, A. (2003). A parser as an epistemic artifact: a material view on models. *Philosophy of Science*, 70(5), 1484-1495.
- Larragaña, R. (2009). *La constitución de una población: prácticas representacionales en ecología de poblaciones* (Tesis doctoral). Universidad del País Vasco, Donostia.
- 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.
- Morrison, M. y Morgan, M. (1999). Models as mediating instruments. En M. S. Morgan y M. Morrison (eds.), *Models as mediators. Perspectives on natural and social science* (pp. 10-37). Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- Mortimer, E. Scottt, P., Ribeiro, E. M. y El-Hani, C. (2014). Conceptual profiles: theoretical methodological bases of a research program. En E. F. Mortimer y C. N. El-Hani (eds.), *Conceptual profiles. A theory of teaching and learning scientific concepts* (pp. 3-33). Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Murphy, G. (2004). *The big book of concepts*. Massachusetts, EUA: The MIT Press.
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC, EUA: The National Academies.
- Nersessian, N. (2008). Mental model in conceptual change. En S. Vosniadou (ed.), *International Handbook on Conceptual Change* (pp. 391-416). Nueva York, EUA: Routledge.
- Nia, M. y Vries, M. J. de (2017). Models as artefacts of a dual nature: a philosophical contribution to teaching about models designed and used in engineering practice. *International Journal of Technology and Design Education*, 27(4), 627-653.
- Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. En D. Gentner y A. L. Stevens (eds.), *Mental models*. Nueva Jersey, EUA: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Ocampo, E. (2017). *Modelos mentales sobre aprendizaje en estudiantes de pedagogía infantil* (Tesis doctoral). Universidad de Manizales/CINDE, Manizales, Colombia.
- Orrego, M. y Tamayo, Ó. E. (2016). Bases moleculares de la memoria y su relación con el aprendizaje. *Archivos de Medicina*, 16(2), 467-84.
- Pozo, J. I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid, España: Morata.
- Pozo, J. I. (1993). Psicología y didáctica de las ciencias de la naturaleza: ¿Conceptos alternativos? *Infancia y Aprendizaje*, (62), 187-204.
- Pozo, J. I. (1994). El cambio conceptual en el conocimiento físico y social: del desarrollo a la instrucción. En M. J. Rodrigo (ed.), *Contexto y desarrollo social*. Madrid, España: Síntesis.

- Ramírez, L. y Tamayo, Ó. E. (2011). Aprendizaje profundo en semiología neurológica mediante una herramienta informática. *Hacia la Promoción de la Salud*, 16(2), 109-120.
- Rumelhart, D. E. y Ortony, A. (1977). The representation of knowledge in memory. En R. C. Anderson, R. J. Spiro y E. E. Montague (eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge*. Hillsdale, Nueva York, EUA: Erlbaum.
- Serrano, G. T. (1992). *Desarrollo conceptual del sistema nervioso en niños de 5 a 14 años. Modelos mentales* (Tesis doctoral no publicada). Universidad Complutense, Madrid, España.
- Shank, R. (1999). *Dynamic memory revisited*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- Shank, R. y Abelson, R. (1987). *Guiones, planes, metas y entendimiento*. Barcelona, España: Paidós.
- Sinatra, G. M. y Pintrich, P. R. (2003). The role of intentions in conceptual change learning. En G. M. Sinatra y P. R. Pintrich (eds.), *Intentional conceptual change*. Nueva Jersey, EUA: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Solomon, G. (2001). *Cogniciones distribuidas: consideraciones psicológicas y educativas*. Buenos Aires, Argentina: Amorrortu.
- Solsona, N. (1997). *L'emergència de la interpretació dels fenòmens químics* (Tesis doctoral no publicada.) Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.
- Suárez, M. (2003). Scientific representation: against similarity and isomorphism. *International Studies in the Philosophy of Science*, 17(3), 225-244.
- Suárez, M. (2004). An inferential conception of scientific representation. *Philosophy of Science (Symposia)*, 71(5), 767-779.
- Suppe, F. (2000). Understanding scientific theories: an assessment of developments, 1969-1998. *Philosophy of Science*, 67, S102-S115.
- Tamayo, Ó. E. (2006). Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. *Educación y Pedagogía*, XVIII (45), 39-49.
- Tamayo, Ó. E. (2009). *Didáctica de las ciencias: la evolución conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias* (1ª. ed.). Manizales, Colombia: Universidad de Caldas.
- Tamayo, Ó. E. (2015). Aprendizaje como cambio conceptual. Universidad de Caldas, Manizales. Seminario de doctorado (Documento no publicado).
- Tamayo, Ó. E. (2016). Editorial. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 12(2), 7-12.
- Tamayo, Ó. E. (2018). Modelos y modelización en la didáctica de las ciencias. Seminario de Doctorado en Educación. Universidad de Caldas, Manizales. (Documento no publicado).

- Tamayo, Ó. E., López, A. M. y Orrego, M. (2017). Modelización multidimensional en la didáctica de las ciencias. Una aplicación en la enseñanza y aprendizaje de la inmunología. *Enseñanza de las Ciencias*, número extraordinario, 4313-4317.
- Tamayo, Ó. E. y Sanmartí, N. (2003). Estudio multidimensional de las representaciones mentales de los estudiantes. Aplicación al concepto de respiración. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 1(1), 1-16.
- Tamayo, Ó. E. y Sanmartí, N. (2007). High-school students' conceptual evolution of the respiration concept from the perspective of Giere's cognitive science model. *International Journal of Science Education*, 29(2), 215-248.
- Fraassen, B. van (1980). *The scientific image*. Oxford, Inglaterra: Oxford University Press.
- Vasco, C. E. (2013). *Procesos, sistemas, modelos y teorías en la investigación educativa*. Serie Lecciones Inaugurales. Segunda edición de 2013 basada en la Lección Inaugural del Doctorado Interinstitucional en Educación DIE, Sede Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2011.
- Viennot, L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. París, Francia: Herman Cop.
- Vosniadou, S. (2008). Conceptual change research: an introduction. En S. Vosniadou (ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. XIII-XXVIII). Nueva York, EUA: Routledge.
- Vosniadou, S. (2013). Conceptual Change in learning and instruction: the framework theory approach. En S. Vosniadou (ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 11-30). Nueva York, EUA: Routledge.
- Vosniadou, S. y Brewer, W. P. (1992). Mental models of the earth: a study of the conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology* 24(4), 535-585.
- Vosniadou, S. y Brewer W. P. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18(1), 123-183.
- Vries, M. J. de (2013). Modeling in technology and engineering education. En P. J. Williams y D. Gedera (eds.), *Proceedings PATT-27 conference, technology education for the future: A play on sustainability* (pp. 122-127). Nueva Zelanda: Technology Environmental Science and Mathematics Education Research Centre, Universidad de Waikato.
- Weisberg, M. (2007). Who is a modeller? *The British Journal for the Philosophy of Science*, 58(2), 207-233.

CAPÍTULO 4

EL FENÓMENO DE LA OBESIDAD HUMANA Y SU ABORDAJE EDUCATIVO: UN RETO PARA LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

*Tathali Urueta Ortiz**

Sin lugar a duda, el comer, no sólo es un placer es también una necesidad. La comida que preparamos, con quién la comemos, en dónde la comemos, y por qué la comemos es reflejo de nuestros valores, cultura, religión, preferencias gustativas, estatus socioeconómico, historia, entre otros factores que caracterizan el acto de comer. Hoy en día, el mundo de la alimentación ha tomado un papel protagónico en nuestras sociedades y vidas.

Por un lado, los medios de comunicación nos han inundado con un sin fin de *shows* en los cuales chefs nos enseñan qué y cómo cocinar. Nutriólogas, enfermeras y médicas aconsejan a través de entrevistas radiofónicas, *podcasts*, libros, páginas web, programas televisivos, etcétera, qué comer y qué no comer. A esto se suman cientos de publicaciones que nos acercan y enseñan, al ávido público, la gastronomía de países lejanos uniéndose a la tendencia de

* <tathali.urueta@alumni.ubc.ca>

publicar recetas de comida saludable y dar a conocer fórmulas de cómo cambiar hábitos alimentarios en días y semanas.

Por otro lado, el mundo de la alimentación forma parte de los encabezados debido a la falta de seguridad alimentaria/nutricional¹ que continúa siendo una de las problemáticas más importantes a nivel mundial que enfrentan todas las sociedades.

Así, de esta problemática se deriva la ‘doble carga’ de la malnutrición (en inglés *double burden*) que es la “coexistencia de sobrepeso y obesidad con desnutrición en las mismas poblaciones y aun en los mismos hogares” (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [Coneval], 2010, p. 55). Es debido a esto que las enfermedades relacionadas con la alimentación han tomado un papel protagónico en los sistemas públicos de salud de muchos países. En México, el sobrepeso y la obesidad son problemas importantes de salud pública, ya que los niveles de prevalencia son preocupantes en todas las edades. Esta situación es en particular inquietante, ya que el sobrepeso, la obesidad y la desnutrición son la génesis de muchas enfermedades crónicas no transmisibles (Coneval, 2010; World Health Organization [WHO], 2017). En opinión del Coneval (2010), se espera que los costos de atención de las enfermedades relacionadas con la alimentación consuman buena parte de los recursos de los sistemas de salud de países, tanto desarrollados como de aquellos en vías de desarrollo y subdesarrollados.

Los esfuerzos que encabezan diversos sectores de la población para mitigar estas tendencias nos revelan que estamos viviendo un momento histórico, en el que muchos y diversos actores de las sociedades trabajan para mejorar la alimentación de todos no sólo en cantidad sino en calidad de los alimentos. Uno de los esfuerzos más

¹ Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO por sus siglas en inglés) “La seguridad alimentaria o seguridad nutricional se da cuando todas las personas tienen acceso físico, social y económico permanente a alimentos seguros, nutritivos y en cantidad suficiente para satisfacer sus requerimientos nutricionales y preferencias alimentarias, y así poder llevar una vida activa y saludable” (FAO, 2018).

significativos es el que encabeza la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que –consciente de la necesidad de erradicar el hambre y prevenir todas las formas de malnutrición en el mundo entero, en particular la subalimentación, el retraso en el crecimiento de los individuos, la emaciación,² el peso inferior al normal y el sobrepeso de niños menores de 5 años, así como la anemia en mujeres y niños–, destaca la necesidad inminente de invertir la tendencia al alza del sobrepeso y la obesidad y reducir la carga que suponen las enfermedades no transmisibles relacionadas con la alimentación en todos los grupos de edad (WHO, 2017). En congruencia con lo anterior, la ONU decidió proclamar el periodo comprendido entre 2016 y 2025 como el *Decenio de las Naciones Unidas de Acción sobre la Nutrición*. Y, acorde con ello, la Organización Mundial para la Salud (OMS) ha destacado seis áreas clave que deben ser atendidas mediante la creación e implementación de políticas públicas para afrontar el problema que afecta en mayor o menor medida a todos los países: la –mencionada– *doble carga de la malnutrición*. Una de tales seis áreas que se proponen para atajar dicha problemática es la de la educación para la nutrición (WHO, 2017).

¿QUÉ ES EL FENÓMENO DE LA OBESIDAD?

La obesidad puede ser definida como “una acumulación anormal o excesiva de grasa que puede ser perjudicial para la salud, y que tiene como causa principal el desequilibrio entre la ingesta calórica y el consumo de energía” (Coneval, 2010, p. 56). Esta definición, aunque correcta, presenta al fenómeno en cuestión, la obesidad, como si fuese simple y lineal.

Atrás ha quedado la idea de que la obesidad es el producto de sólo un factor, hoy sabemos que dicho fenómeno es multifacético en su etiología. Es decir, que existen una pluralidad de factores

² Emaciación: delgadez extrema en relación con el peso del individuo.

(véase figura 1) que contribuyen a que éste se origine, por lo que no es sólo un problema de orden biológico. El incremento en el número de personas obesas y con sobrepeso en el mundo obedece a muchos factores. El Overseas Development Institute [ODI] (2014) reportó que alrededor del mundo existen 1 460 billones de personas obesas o con sobrepeso; en los países en vías de desarrollo, entre 1980 y 2008, el incremento ha sido importante. De hecho, la cifra se triplicó, pues pasó de 250 millones en 1980 a 904 millones de seres humanos obesos y/o con sobrepeso en el 2014. En el mismo periodo, en países clasificados como de altos ingresos, el número de personas con sobrepeso y obesidad se incrementó en 1.7 veces (ODI, 2014).

A continuación, presento un listado y una representación (figura 1) de los factores que tienen mayor incidencia en el fenómeno de la obesidad (Rossen y Rossen, 2012). Éste no es exhaustivo ni tiene un orden jerárquico. Sólo pretende evitar conclusiones inmediatas sobre qué origina la obesidad y, sobre todo, que el lector, de manera visual, perciba la complejidad del problema. Los factores (que a su vez están concatenados) son: biológicos (interacciones entre genes y el medio ambiente, desequilibrio calórico, hormonas, herencia, etcétera); la dieta (dónde comemos, qué comemos, la cantidad de alimentos que comemos, etcétera); psicológicos, la falta de actividad física, factores familiares y sociales (los niños aprenden de sus familias el qué, cuándo, cómo comer, etcétera); socioculturales, factores asociados a las prácticas y políticas de la industria alimentaria, los medios de comunicación y la mercadotecnia; factores geográficos (dónde vivimos, trabajamos y jugamos determina en mayor o menor grado el tipo de alimento al que tenemos acceso); el precio de los alimentos y los factores socioeconómicos, así como las políticas agrícolas de los países. Dentro de este último factor destaca el cambio en las dietas de las personas. Éstas han cambiado y siguen modificándose en lugares donde los ingresos se han elevado, disminuyendo el consumo de cereales y tubérculos e incrementándose el consumo de proteínas animales,

azúcares, grasas, frutas y verduras (ODI, 2014). Éste es un muy buen ejemplo de cómo estos factores se entrelazan, pues al cambiar las políticas agrícolas también cambian las dietas; y esto tiene un efecto en la salud de los consumidores.

Figura 1. Factores asociados al fenómeno de la obesidad



PERSPECTIVAS Y DISCURSOS ACERCA DE LA OBESIDAD

La historia de cómo los humanos hemos explicado la obesidad a lo largo de los siglos, resalta cómo la conceptualización del fenómeno ha cambiado con el paso del tiempo, respondiendo tanto a la época como al contexto del cual fueron producto (Gilman, 2010).

Así, las conceptualizaciones acerca de este fenómeno en el siglo XXI son producto de nuestro tiempo. Es importante señalar esto, ya que las perspectivas disciplinares (véase figura 1) involucradas en la investigación del fenómeno de la obesidad, repercuten y lo seguirán haciendo en cómo lo entendemos y, por lo tanto, en cómo las agendas educativas abordan el fenómeno de la obesidad.

El fenómeno de la obesidad es analizado desde diversas disciplinas científicas: antropología, geografía, sociología, epidemiología, psicología, demografía, biología, economía, ciencia política, salud pública, etcétera (Cawley, 2011). Sin embargo, la educación como rama disciplinar no es o es poco mencionada como lente de análisis. Parecería que el qué y cómo enseñar acerca de la obesidad está implícito en alguna de las disciplinas mencionadas con anterioridad. Brown (2011) señala en uno de los capítulos del *The Oxford Handbook of the Social Science of Obesity*³ que, en las 59 intervenciones llevadas a cabo en escuelas que revisó como parte de su evaluación, no existe una clara ruta hacia cuáles son las intervenciones que funcionan para modificar los patrones de comportamiento de los estudiantes con respecto a la ingesta de alimentos y/o la actividad física.

En la actualidad destacan dos discursos acerca de la obesidad que se encuentran claramente definidos y que son producto de disciplinas que poco o nada se comunican entre ellas. Por un lado, encontramos el discurso dominante –tanto en las agendas educativas como en la concepción de la obesidad en la salud pública–. Por otro, el científico –sustentado en disciplinas como la epidemiología, la fisiología, la nutrición, la medicina y las ciencias de la salud–. A través de esta lente, la obesidad es entendida como una enfermedad y epidemia, restringiendo, en la mayoría de los casos el fenómeno a sus bases biomédicas (Cruz-Sánchez, Tuñón-Pablos, Villaseñor-Farías, Álvarez-Gordillo y Nigh-Nielsen, 2013; Evans, Rich, Davies y Allwood, 2008; Gracia-Arnaiz, 2007; López, Ramírez y Sánchez, 2014). A esta

³ Manual Oxford de las Ciencias Sociales para la Obesidad.

perspectiva reduccionista de la obesidad, en la que predominan visiones dicotómicas acerca de la comida y la alimentación que la clasifican en mala y buena, lo que debes y lo que no debes comer, en la que se tiende a la normalización dietética y en la cual se hace énfasis en que la obesidad es un “factor de riesgo para la aparición de otras enfermedades, y remite al individuo la carga de culpa moral, pues considera que su estilo de vida explica la causas” (Cruz-Sánchez *et al.*, 2013); se le conoce como “visión medicalizada”. Es decir, un asunto complejo como es el fenómeno de la obesidad se ha sobresimplificado y reducido maniqueamente al ser abordado por maestros, padres y administrativos, tanto dentro como fuera de los salones de clase (Evans *et al.*, 2008; Welch, McMahon y Wright, 2012). De hecho, en opinión de López *et al.* (2014), la clasificación de la obesidad como epidemia global, a la cuál algunos autores (Delpeuch, Maire, Monier y Holdsworth, 2009) y autoridades sanitarias han llamado “*globesity*”, es en parte lo que dificulta entender su verdadera dimensión diversa y compleja. Los autores señalan:

que es importante recordar que los discursos articulados en torno a la obesidad, como todos los discursos científicos, están condicionados por la primacía de cierto tipo de explicaciones sobre el fenómeno sobre otros, así como por las lógicas de reproducción de los paradigmas científicos dominantes en cada momento (p. 1722).

Lo interesante es que, a pesar de la hegemonía de este discurso medicalizado de la obesidad y la alimentación en las agendas educativas, así como en los modelos de prevención e intervención nutricional esbozados por las agencias de salud pública, poco o nada ha cambiado el panorama mundial respecto a los problemas de salud asociados a la alimentación. Este discurso se ha caracterizado por:

producir y mantener patrones de promoción de la salud que, a pesar de la diversidad cultural y económica de las poblaciones, son muy similares a nivel mundial. Así lo demostraría el incremento de enfermedades crónicas

vinculadas con la obesidad. Esta divergencia entre el conocimiento normativo y las prácticas alimentarias cuestiona, en buena medida, la eficacia del actual modelo de prevención e intervención nutricional (Gracia-Arnaiz, 2007, p. 241).

La otra perspectiva que ha surgido en respuesta a este modelo medicalizado de la obesidad y la alimentación, es una visión en la que se reconocen la diversidad de variables involucradas en el fenómeno de la obesidad y, como tal, su complejidad. Este cambio paradigmático, en el cual la obesidad no se limita a una serie de factores biológicos, presenta nuevos retos. Existe por ejemplo un movimiento llamado “salud en cualquier talla,”⁴ que propone que en el contexto de la salud pública se transite hacia una visión de la obesidad centrado en la salud y no en la pérdida de peso (Cadena-Schlam y López-Guimerà, 2015; Penney y Kirk, 2015; Welch *et al.*, 2012). Autores como Brady, Gingras, y Aphramor (2013) enfatizan que es importante que esta perspectiva se deslinde de la medicalización de la salud, ya que si no lo hace, el enfoque sigue siendo el mismo: se pondera al individuo y las soluciones están formuladas sólo al nivel individual, descartando entonces las demás variables; es decir se regresa a sólo

dotar de competencias dietéticas y responsabilizar a los individuos de su estado de salud sin comprender o cuando menos afrontar, que la vida cotidiana de la ciudadanía es heterogénea *per se* y está articulada por actividades diversificadas y acontecimientos irregulares a menudo incompatibles con la rutina requerida por los apremios dietéticos (Gracia-Arnaiz, 2007, p. 242).

Por su parte, Penney y Kirk (2015) señalan que es importante que esta perspectiva se estudie a profundidad en diversas poblaciones y a través del tiempo.

⁴ En inglés: “Health at Every Size”.

Definitivamente, el estudio del fenómeno de la obesidad desde diferentes disciplinas ha producido en la última década una vasta literatura. Una de estas ramas es la que “pone énfasis en las aportaciones de corte sociocultural que enriquecen y complejizan el estado actual de la cuestión, estableciendo un diálogo crítico con las perspectivas, predominantes, abrumadoramente biomédicas y epidemiológicas” (López *et al.*, 2015, p. 1727). Así, la perspectiva sociocultural, al enmarcar la obesidad como un problema de salud pública, “ayuda a descentrar la búsqueda de explicaciones y soluciones fuera de los ámbitos estrictamente sanitarios y alimentarios, apuntando a otras dimensiones” (López *et al.*, 2015, p. 1727), favoreciendo de esta manera el trabajo y la mirada transdisciplinar.

Sin lugar a duda, la perspectiva científica que enarbola una visión medicalizada de la obesidad es la que ha permeado en la educación en ciencias y salud, en los discursos de salud pública y en otras áreas relevantes. Sin embargo, al sumarse otras voces a los esfuerzos para entender el fenómeno de la obesidad, se abren caminos poco o no recorridos que invitan a reflexiones críticas y a nuevas propuestas. Es pues éste el caso de la presente contribución capitular desde la didáctica de las ciencias, la cual se suma a la búsqueda de explicaciones y soluciones. Cabe puntualizar de nuevo, no hay recetas mágicas, ni una lista de pasos a seguir en el entendimiento de un fenómeno tan complejo como lo es la obesidad; pero sin lugar a duda, el plantearse el reto de qué y cómo enseñar acerca de este fenómeno merece un espacio en la enseñanza de las ciencias/didáctica de las ciencias.

Es importante señalar que en este texto el uso del término enseñanza de las ciencias proviene de *science education* y lo utilizo a lo largo de este capítulo como sinónimo de la disciplina autónoma didáctica de las ciencias.

ABORDAJE DESDE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

Este apartado se enfocará en la dimensión educativa del problema de salud pública que es la obesidad, específicamente desde el campo de la enseñanza y aprendizaje de la ciencia, recuperando las ideas de Zeyer y Kyburz-Graber (2012a, 2012b) acerca de los problemas sociocientíficos. Es decir, el fenómeno de la obesidad humana será enmarcado como un problema sociocientífico que debe explorarse en el campo de la didáctica de la ciencia o educación en ciencias desde una perspectiva sociocultural. Asimismo, en esta sección, se destacará cómo el abordar estos problemas sociocientíficos desde la enseñanza de la ciencia merece especial atención, ya que éstos trascienden las fronteras disciplinares tradicionales. El abordaje de tales problemas enriquece tanto la enseñanza como el aprendizaje, al complejizar el discurso, alejándose, así, de dicotomías a las que frecuentemente se ha recurrido en los libros de texto, medios de comunicación y prácticas pedagógicas en el área de la educación para la nutrición –al referirse a la comida o los alimentos con expresiones dicotómicas–. Pues éstos y aquélla, como se mencionó anteriormente, son señalados como “buenos/malos”, “saludable/no-saludable”. Estas dicotomías son el producto de la medicalización de la educación –para el caso de la nutrición– que ha dado como resultado que niños, jóvenes y adultos tengan relaciones poco sanas con la comida, ya que éstas se basan en culpas y miedos y no en conocimiento y disfrute de los alimentos (Welch *et al.*, 2012). Ante ello, cabe preguntarse ¿qué tipo de educación en ciencias nos puede ayudar a construir bases más sólidas con las cuales los ciudadanos puedan apoyarse para tomar decisiones informadas concernientes a su salud, en este caso la obesidad? Definitivamente, se puede decir que esa educación en ciencias que favorezca un entendimiento del fenómeno de la obesidad y su complejidad merece y requiere un enfoque curricular en el cual se favorezca tanto la interdisciplinariedad como la transdisciplinariedad en la enseñanza y el aprendizaje. Como señala Öberg (2011):

...la investigación y educación cuya meta es el entendimiento de fenómenos contemporáneos complejos, por lo general requieren del uso e integración de saberes provenientes de más de una disciplina, y a menudo requieren de la aportación de participantes extraacadémicos en el proceso de investigación (p. 8).

Recordemos que “la vida es multidisciplinaria, y las disciplinas son el resultado de la fragmentación artificial del conocimiento” (Choi y Pak, 2006, p. 357).

Es importante mencionar aquí que los términos multidisciplinar, interdisciplinar y transdisciplinar son polisémicos y en algunos casos han sido usados como sinónimos, sin serlo. Con ánimos de contribuir al esclarecimiento de éstos, se ofrece aquí una definición de tales términos que pretende proveer claridad acerca de los significados:

La multidisciplinariedad toma de diferentes disciplinas el conocimiento, pero se mantiene dentro de las fronteras disciplinares. La interdisciplinariedad analiza, sintetiza y armoniza los vínculos entre disciplinas en un todo coordinado y coherente. La transdisciplinariedad integra las ciencias naturales, sociales y de la salud en un contexto humano, y trasciende sus fronteras tradicionales (Choi y Pak, 2006, p. 351).

Así, lo que nos corresponde como investigadores es discutir cómo en el contexto de la didáctica de las ciencias estos enfoques multidisciplinar, interdisciplinar y transdisciplinar contribuyen o no a las prácticas académicas propias de la didáctica de las ciencias.

El Modelo de Reconstrucción Educativa

En opinión de Ozbas y Kilinc (2015) los investigadores del área de la enseñanza de las ciencias, poco o nada se han ocupado de temas de salud como la obesidad, pues estos temas son usualmente

investigados desde otras áreas de investigación; tales como la educación para la salud, la educación para la nutrición, entre otras. Sin embargo, estos autores subrayan que el enfoque propuesto por Dillon (2012), Zeyer y Kyburz-Graber (2012a), Zeyer y Kyburz-Graber (2012b) y Zeyer y Dillon (2014) destaca, ya que éste resalta tanto la importancia que tienen la salud y el medioambiente como los contextos para la enseñanza de las ciencias. Ello puede ser fructífero para abordar el fenómeno de la obesidad, pues, así como enfatizan que no sólo la salud y el medio ambiente son parte integral de los discursos de la alfabetización científica y el desarrollo sostenible, debiera considerarse que éstos son temas que están cerca de los intereses y necesidades de los estudiantes y pueden facilitar una educación científica que favorezca el abordaje de temas que son relevantes para los estudiantes. Claramente, lo que *no* necesitan los estudiantes es más educación simplista y limitada acerca de nociones tan importantes como lo son la alimentación y la comida, que sólo refuerzan posiciones dicotómicas (Welch *et al.*, 2012). Es primordial mencionar que Zeyer y Dillon (2014) no abogan por que la didáctica de las ciencias absorba tanto a la educación ambiental como a la educación para la salud, por el contrario, lo que señalan es el importante papel que éstas juegan en la educación en ciencias, así como el mutuo beneficio, además hacen énfasis en que el diálogo entre estas tres áreas favorece la interdisciplinariedad y, en mi opinión, también la transdisciplinariedad.

Recordemos que mientras los administradores educativos, profesores y académicos debaten acaloradamente qué debe ser incluido en los currículos de ciencias y cómo introducir temas controversiales como la evolución en ciertos contextos sociales, los estudiantes han permanecido en un ‘estado comatoso’ en los salones de clase. La educación ha fallado al no fomentar que los estudiantes disfruten y se identifiquen con los temas que *deben* aprender, específicamente con la ciencia; es difícil que los estudiantes reconozcan la importancia que ésta tiene en su vida cotidiana (Sadler, 2011). Una de las razones que explican dicha situación, es que se ha fallado en la creación de

currículos que abarquen problemas sociocientíficos contemporáneos que sean personalmente relevantes para estudiantes de nivel secundaria y bachillerato; como lo son el uso de drogas, el alcoholismo, el tabaquismo, la anorexia y bulimia, y la obesidad. Esto, con la finalidad de que dichos asuntos sociocientíficos se utilicen como sujetos de conocimiento y definan contextos socioculturales que enmarquen el aprendizaje de las ciencias. Es decir, que estos fenómenos, como el de la obesidad, trasciendan a fenómenos de valor educativo debido a su importancia como asunto sociocientífico en la vida de los educandos. Sadler (2011) señala, mediante el uso de una analogía, que los estudiantes aprenden a utilizar teléfonos celulares, computadoras, tabletas y reproductores digitales, sin instructivos; porque, en gran medida, el conocimiento del contenido es útil y significativo para ellos. En sus palabras: “no es irreal el creer que los estudiantes pueden aprender conceptos científicos [fenómenos científicos] cuando éstos cumplen con los mismos criterios” (Sadler, 2011), es decir, para que los individuos comprendan fenómenos naturales y materiales que desconocen es importante que ellos creen conexiones con contextos personales.

La visión interdisciplinar ya mencionada de Dillon (2012), Zeyer y Kyburz-Graber (2012a), Zeyer y Kyburz-Graber (2012b), Zeyer y Dillon (2014) genera una valiosa plataforma para trascender el enfoque disciplinar de la enseñanza de las ciencias; el cual ha dominado la enseñanza y en el que los problemas de salud y los medioambientales sólo se atienden y se entienden desde una disciplina, negando u omitiendo la interdisciplinariedad del conocimiento. Por su parte, Sadler (2011) destaca que la enseñanza de la ciencia debe ser inclusiva de los problemas sociocientíficos, ya que éstos requieren que los estudiantes se involucren en temas controversiales en los que tendrán que buscar información de manera independiente, desarrollarán y enunciarán afirmaciones científicas, argumentarán con sus compañeros y formularán conclusiones. Zeyer (2012) nos recuerda que los maestros que evitan en el salón de clases el abordaje de problemas sociopolíticos relacionados con investigaciones

y avances científicos están tomando de *facto* una posición de valor, de tal manera que los docentes que evitan la reflexión crítica y discusión controversial de temas como la incertidumbre, el riesgo, y la inequidad están construyendo barreras contra el cambio de conciencia y adopción de racionalidad de asuntos que tocan la salud humana y la supervivencia sustentable de las especies en el planeta. A esta posición se unen las voces de Zeidler, Sadler, Simmons y Howes (2005), quienes puntualizan la importancia de cambiar la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva de ciencia, tecnología y sociedad (CTS) hacia un marco teórico más completo, como el que ofrece el discurso de los problemas sociocientíficos.

Así, en enseñanza de la ciencia hay por lo menos un doble desafío; por un lado, la inclusión de temas de salud y medioambientales tiene implicaciones en el salón de clases –como la necesidad de considerar los aspectos curriculares, la reconstrucción educativa de los temas de salud y medioambientales, los problemas asociados a la formación docente, así como otros problemas teóricos y prácticos (Zeyer y Kyburz-Graber 2012b)–. Por el otro lado, Zeyer y Kyburz-Graber (2012a) señalan que el reto que surge al integrar problemas y temas de salud y medio ambientales con la enseñanza de las ciencias es importante, ya que estos temas y problemáticas son complejos y están entrelazadas con cuestiones sociales y que atañen a la sociedad. Es decir, son, dada su naturaleza, interdisciplinarios, pues, como he mencionado antes, éstas son cuestiones sociocientíficas. En opinión de los autores, la enseñanza de problemas sociocientíficos trasciende el modelo canónico tradicional de transmisión de la ciencia, y esto da pie a que los problemas de salud y medioambientales funcionen como catalizadores en la transformación de la enseñanza de la ciencia hacia un nuevo modelo que los investigadores del campo de la enseñanza de la ciencia han buscado durante muchos años.

Así arribamos a la respuesta de la pregunta que dio pie a este apartado: ¿qué tipo de educación en ciencias nos puede ayudar a construir bases más sólidas con las cuales los ciudadanos puedan

apoyarse para tomar decisiones informadas concernientes a su salud, en este caso la obesidad? La contestación (y propuesta) es la de una educación en ciencias basada en una concepción de investigación que sea relevante tanto para la mejora de la práctica escolar, como para la mejora de los programas de formación docente. Esta propuesta llamada “modelo de reconstrucción educativa” fue acuñada por Duit (2006, 2007) y Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek y Parchmann (2012), sostiene que “la estructura de los contenidos científicos debe ser reconstruida desde una perspectiva educativa” (Duit, 2006, p. 750), es decir, “una reconstrucción desde la escuela que permita convertir los contenidos disciplinares en algo útil para lo que debe hacer la escuela, para educar” (Llerena del Castillo y Espinet Blanch, 2017, p. 93).

El Modelo de Reconstrucción Educativa plantea que se debe prestar la misma atención a las cuestiones de las disciplinas científicas que a las necesidades y capacidades de aprendizaje de los estudiantes, en los intentos para mejorar la calidad de la enseñanza y el aprendizaje. De igual manera, el modelo hace énfasis en que las actividades de investigación y de desarrollo deben estar íntimamente relacionadas ya que “el mejoramiento de la práctica docente sólo se logrará si desarrollo e investigación están estrechamente vinculados” (Duit, 2006). Los autores de este modelo argumentan que esta proximidad impacta de manera positiva el avance de la alfabetización científica de los aprendices.

De esta manera, el planteamiento de trabajar desde la didáctica de las ciencias con el fenómeno de la obesidad, implica su reconstrucción, es decir, la transformación del saber científico en saber escolar. Esto contribuirá a que la enseñanza de la ciencia/didáctica de la ciencia, fundamentada en la investigación en el campo, sea entonces una disciplina autónoma que se añada a las otras que participan en la búsqueda de soluciones a una problemática compleja que involucra diversos factores y actores de la sociedad.

El Modelo de Reconstrucción Educativa está integrado por tres componentes estrechamente vinculados, que no describiré aquí a

profundidad, pero que son fundamentales en este marco y que se verán ejemplificados y explicados en los capítulos siguientes, éstos son:

1. “El análisis de la estructura de los contenidos que incluye dos procesos muy relacionados: la aclaración de la materia estudiada y el análisis de su relevancia educativa” (Duit, 2006, p. 751).
2. El estudio de las concepciones previas de los estudiantes y maestros, incluyendo variables en el plano de lo afectivo como los intereses, las autoconcepciones y las actitudes (Duit *et al.*, 2012).
3. El diseño y la evaluación de ambientes de aprendizaje: secuencias didácticas (Duit *et al.*, 2012).

A su vez, estos tres marcos son tres áreas de investigación educativa, que dan sustento a una nueva manera de enseñar ciencia, un nuevo acercamiento que busca –a partir de la fundamentación teórica y el análisis de la práctica– trascender las barreras disciplinares para así afrontar estos problemas sociocientíficos tan complejos que nos atañen a todos y que sin lugar a duda necesitan de un acercamiento en el que se favorezca su complejidad.

CONCLUSIONES

Aquí he presentado el reto de replantear cómo incorporar y enseñar un contenido de enseñanza no tradicional: el fenómeno de la obesidad desde la didáctica de las ciencias, como un ejemplo de abordaje de un asunto sociocientífico, con la intención de que los estudiantes logren la comprensión de un fenómeno que pueda resultar en acciones que favorezcan su salud.

Sin embargo, para que esta propuesta no permanezca en el terreno puramente especulativo, es necesario realizar una labor basada en la investigación; que enriquezca los fundamentos teóricos

que sustentan tanto la labor docente como la planeación curricular y muestren su viabilidad de abordaje didáctico en las aulas.

Con el propósito de procurarle a la propuesta un encuadre de investigación, es que recurro al Modelo de la Reconstrucción Educativa que en este libro se ha mencionado. Pues este encuadre permite visualizar otra manera de construir conocimiento escolar y enseñar ciencia a través del uso de los modelos y la modelización de fenómenos científicos; lo cual queda perfectamente ubicado en los tres sectores de investigación mencionados en dicho modelo –“análisis de la estructura de los contenidos”, “investigación sobre enseñanza y aprendizaje” y “desarrollo y evaluación de la enseñanza”.

Es importante señalar que, a pesar de que en el campo de la didáctica de las ciencias las discusiones e investigaciones de corte epistemológico son cotidianas, éstas no sobresalen en el campo biomédico. Así la coexistencia de diversos y distantes discursos acerca de fenómenos complejos, como el de la obesidad, son una realidad en la que desafortunadamente el enfoque de enseñar conceptos desarticulados y privilegiar la memorización de éstos para responder a exámenes, sigue prevaleciendo en la cotidianidad de las aulas.

Si bien el reto planteado, inclusión y abordaje de fenómenos sociocientíficos en la didáctica de las ciencias, representa un polo atractivo de desarrollo, no resulta fácil de abordar desde el marco curricular. Esto debido a que corrientemente los marcos curriculares están difícilmente fundamentados en una visión de modelos y modelización y en una perspectiva transdisciplinaria que permita coadyuvar al logro de las expectativas originadas en el campo de la didáctica de las ciencias; ya que debiera estar presente una visión similar desde la perspectiva de las ciencias sociales.

Asimismo, nuestra propuesta no está ausente de dificultades en lo que toca a los responsables de llevar al cabo desarrollos didácticos como el aquí insinuado y planteado en este libro: los docentes. La apuesta requiere de la transformación de la formación de docentes, profesionales educativos e investigadores en didáctica de las ciencias, pues necesitan contar con herramientas conceptuales

y prácticas indispensables para transformar la enseñanza de la ciencia. Y esto, creo, sólo se logrará mediante la creación de grupos transdisciplinarios que trabajen en conjunto para la creación de proyectos educativos que sean relevantes para los estudiantes, sus comunidades, la sociedad y el mundo en el que vivimos.

REFERENCIAS

- Brady, J., Gingras, J. y Aphramor, L. (2013). Theorizing health at every size as a relational-cultural endeavour. *Critical Public Health*, 23(3), 345-355. DOI:10.1080/09581596.2013.797565
- Brown, T. (2011). School-based interventions. En J. Cawley (ed.), *The oxford handbook of the social science of obesity* (pp. 665-682). Nueva York: Oxford University Press.
- Cadena-Schlam, L. y López-Guimerà, G. (2015). Intuitive eating: an emerging approach to eating behavior. *Nutrición Hospitalaria*, 31(3), 995-1002. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2015.31.3.7980>
- Cawley, J. (2011). *The Oxford Handbook of the Social Science of Obesity*. Nueva York: Oxford University Press.
- Choi, B. C. K. y Pak, A. W. P. (2006). Multidisciplinarity, interdisciplinarity and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 1. definitions, objectives, and evidence of effectiveness. *Clinical and Investigative Medicine*, 29(6), 351-364. Recuperado de <http://ezproxy.library.ubc.ca/login?url=https://search-proquest-com.ezproxy.library.ubc.ca/docview/196425990?accountid=14656>
- Coneval (2010). *Dimensiones de la seguridad alimentaria: evaluación estratégica de nutrición y abasto*. México, DF: Coneval. Recuperado de https://www.coneval.org.mx/rw/resource/coneval/info_public/pdf_publicaciones/dimensiones_seguridad_alimentaria_final_web.pdf
- Cruz-Sánchez, M., Tuñón-Pablos, E., Villaseñor-Farías, M., Álvarez-Gordillo, G. y Nigh-Nielsen, R. (2013). Sobrepeso y obesidad: una propuesta de abordaje desde la sociología. *Región y sociedad*, 25(57), 165-202. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252013000200006&lng=es&tlng=es.
- Delpuech, F., Maire, B., Monier, E. y Holdsworth, M. (2009). *Globesity: a planet out of control?* Londres, Inglaterra: Earthscan.
- Dillon, J. (2012). Science, environment and health education: towards a conceptualisation of their mutual interdependences. En A. Zeyer y R.

- Kyburz-Graber (eds.), *Science, environment, health* (pp. 87-101). Dordrecht, Países Bajos: Springer Netherlands. DOI:10.1007/978-90-481-3949-1_6
- Duit, R. (2007). Science education research internationally: conceptions, research methods, domains of research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3(1), 3-15. Recuperado de <https://doi.org/10.12973/ejmste/75369>
- 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. Recuperado de <http://www.comie.org.mx/documentos/rmie/v11/n030/pdf/rmie/v11n30scA00n00es.pdf#p>
- 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 D. Jorde. y J. Dillon (eds.), *Science education research and practice in Europe. cultural perspectives in science education*, 5, (pp. 13-37). Rotterdam, NL: SensePublishers. DOI: https://doi-org.ezproxy.library.ubc.ca/10.1007/978-94-6091-900-8_2
- Evans, J., Rich, E., Davies, B. y Allwood, R. (2008). *Education, disordered eating and obesity discourse: fat fabrications*. Londres-Nueva York: Routledge. DOI:10.4324/9780203926710
- FAO (2018). *Estadísticas sobre la inseguridad alimentaria*. Roma, Italy: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/es/>
- Gracia-Arnaiz, M. (2007). Comer bien, comer mal: la medicalización del comportamiento alimentario. *Salud Pública de México*, 49(3), 236-242.
- Gilman, S. L. (2010). *Obesity: The biography*. Nueva York, Oxford: Oxford University Press.
- Llerena del Castillo, G. y Espinet Blanch, M. (2017). *Agroecología escolar*. Barcelona, España: Pol-len Edicions. Recuperado de https://pol-len.cat/w2018/wp-content/uploads/2017/08/Agroecologia_escolar_web.pdf
- López, J. N., Ramírez, J. P. y Sánchez, P. M. (2014). La otra cara de la obesidad: reflexiones para una aproximación sociocultural. *Ciencia & Saude Coletiva*, 19(6), 1721-1729. DOI:10.1590/1413-81232014196.01892013
- Öberg, G. (2011). *Interdisciplinary environmental studies: a primer*. Chichester, Sussex Occidental, Inglaterra: Hoboken/Nueva Jersey Wiley-Blackwell.
- Overseas Development Institute (2014). *Future diets implications for agriculture and food prices*. Londres: Keats, S., & and Wiggins, S. Recuperado de <https://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/8776.pdf>
- Ozbas, S. y Kilinc, A. (2015). School students' conceptual patterns about weight gain: a preliminary study for biology teaching focusing on obesity. *Journal of Biological Education*, 49(4), 339-353. DOI:10.1080/00219266.2014.967273

- Penney, T. L. y Kirk, S. F. L. (2015). The health at every size paradigm and obesity: missing empirical evidence may help push the reframing obesity debate forward. *American Journal of Public Health*, 105(5), e38-e42. DOI:10.2105/AJPH.2015.302552
- Rossen, L. M. y Rossen, E. A. (2012). *Obesity 101*. Nueva York, EUA: Springer Pub.
- Sadler T. D. (2011). Situating socio-scientific issues in classrooms as a means of achieving goals of science education. En T. D. Sadler (ed.), *Socio-scientific issues in the classroom: teaching, learning and research*, vol 39. Dordrecht, Países Bajos: Springer. DOI: https://doi-org.ezproxy.library.ubc.ca/10.1007/978-94-007-1159-4_1
- Welch, R., McMahon, S. y Wright, J. (2012). The medicalization of food pedagogies in primary schools and popular culture: a case for awakening subjugated knowledge. *Discourse: Studies in the Cultural Politics of Education*, 33(5), 713-728. DOI: <https://doi.org/10.1080/01596306.2012.696501>
- WHO (2017). *The double burden of malnutrition. Policy brief*. Geneva: World Health Organization. Recuperado de <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/255413/1/WHO-NMH-NHD-17.3-eng.pdf?ua=1>
- Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Simmons, M. L. y Howes, E. V. (2005). Beyond STS: a research-based framework for socioscientific issues education. *Science Education*, 89(3), 357-377. DOI:10.1002/sce.20048
- Zeyer, A. (2012). A Win-win situation for health and science education: seeing through the lens of a new framework model of health literacy. En A. Zeyer. y R. Kyburz-Graber (eds.), *Science environment health: towards a renewed pedagogy for science education* (pp. 147-173). Dordrecht, Países Bajos: Springer: DOI:10.1007/978-90-481-3949-1_9
- Zeyer, A. y Dillon, J. (2014). Science environment health – towards a reconceptualization of three critical and inter-linked areas of education. *International Journal of Science Education*, 36(9), 1409-1411. DOI:10.1080/09500693.2014.904993
- Zeyer A. y Kyburz-Graber R. (2012a). Revising science teaching: responding to challenges of health and environmental education. En A. Zeyer. y R. Kyburz-Graber (eds.), *Science Environment Health: towards a renewed pedagogy for science education* (pp. 175-189). Dordrecht, Países Bajos: Springer. DOI: https://doi-org.ezproxy.library.ubc.ca/10.1007/978-90-481-3949-1_10
- Zeyer, A., y Kyburz-Graber R. (2012b). Introduction. En A. Zeyer. y R. Kyburz-Graber (eds.), *Science environment health: towards a renewed pedagogy for science education* (pp. 1-4). Dordrecht, Países Bajos: Springer. DOI: https://doi-org.ezproxy.library.ubc.ca/10.1007/978-90-481-3949-1_1

CAPÍTULO 5

EL FENÓMENO DE LA OBESIDAD HUMANA DESDE LA PERSPECTIVA DE LA CIENCIAS BIOLÓGICAS Y LA INFLUENCIA DE LA CULTURA¹

*Mary Orrego Cardozo**

*Oscar Eugenio Tamayo Alzate***

INTRODUCCIÓN

La nutrición es indispensable para mantener una buena salud y en algunos casos puede afectar la susceptibilidad a enfermedades. El estado nutricional de una persona está determinado por factores biológicos, como por ejemplo, el genotipo, la digestión, la absorción, el metabolismo y la excreción de nutrientes, la edad y la fase del ciclo vital; factores neuropsicológicos, como el deseo de comer, el apetito, el sabor agradable de los alimentos; factores sociales,

¹ Este producto corresponde al programa Reconstrucción del Tejido Social en Zonas de Posconflicto en Colombia, código SIGP, Programa: 57579. Financiado por el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, Francisco José de Caldas, contrato núm. 213-2018, Código 58960.

* Profesora Investigadora de la Universidad Autónoma de Manizales, <maryorrego@autonoma.edu.co>

** Profesor Investigador Universidad de Caldas y Universidad Autónoma de Manizales, <oscar.tamayo@ucaldas.edu.co>

como la disponibilidad de alimentos y las costumbres culturales, y factores físicoquímicos y médicos, como el gasto de energía y la presencia de alguna enfermedad.

En la literatura científica se han descrito muchas definiciones sobre el término obesidad y, en casi todas, los autores coinciden en que es un fenómeno complejo de abordaje multidimensional, en el cual se establece un desequilibrio entre la ingesta de nutrientes y el gasto de energía en las actividades realizadas por un ser vivo. Para ilustrar, se muestran las siguientes definiciones:

La obesidad, un trastorno complejo, resulta de la interacción entre factores psicológicos, genéticos, metabólicos y ambientales (Camarena, 2004, pp. 34).

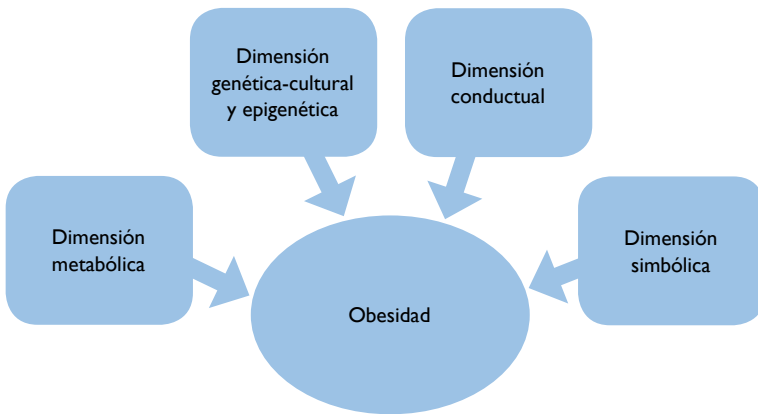
La obesidad refleja un desequilibrio energético positivo entre ingesta calórica, o cantidad de energía recibida con los alimentos, y gasto energético, o cantidad de calorías que consumimos para desarrollar nuestra actividad vital (metabolismo y actividad física). La obesidad aparece cuando el número de calorías ingeridas sobrepasa, de manera crónica, al número de calorías consumidas. Se llega a ese desequilibrio energético por factores genéticos, hormonales y nutricionales. Intervienen también las condiciones del medio y elementos psicosociales. Aunque los genes desempeñan una función importante en la regulación de la masa corporal, no podemos atribuir a cambios genéticos el fenómeno contemporáneo de la obesidad en el mundo occidental. La obesidad se asienta en individuos genéticamente predispuestos y expuestos a condiciones ambientales obesógenas; una dieta hipercalórica y marcado sedentarismo, entre ellas (López y Vidal-Puig, 2007, 74).

Desde un punto de vista termodinámico, la obesidad es el resultado de un balance positivo entre la ingesta y el gasto energético. Por lo tanto, la identificación de los mecanismos moleculares que controlan la ingesta y el gasto energético es un buen punto de partida para resolver el problema (Vidal-Puig, 2002, 36).

La obesidad, como enfermedad, es un trastorno tradicionalmente asumido como un desequilibrio entre el consumo y el gasto de energía (Baynes y Dominiczack, 2006b, p. 209), pero debe considerarse

como un trastorno de causa multidimensional que ha llegado a convertirse, en muchas poblaciones, en un problema de salud pública. En este capítulo se abordará científicamente el problema de la obesidad desde la perspectiva de cuatro dimensiones (figura 1), inspiradas en el texto de Jablonka y Lamb (2005): 1) la dimensión metabólica; 2) la dimensión genética-cultural y epigenética; 3) la dimensión conductual (herencia genética y social), y 4) la dimensión simbólica (el uso de lenguaje y símbolos para el desempeño cultural, social y político). Explicar la obesidad desde estas dimensiones, se justifica, si tenemos en cuenta la relación estrecha entre el medio ambiente, la evolución de las culturas que han influido en las formas de alimentación y la influencia de los medios de comunicación (Puerto-Sarmiento, 2014). Aquí, además, se esbozarán algunas relaciones de interés entre las dimensiones antes señaladas.

Figura 1: Explicación multidimensional de la obesidad



DIMENSIÓN METABÓLICA

En esta dimensión, se aborda la estructura, la función y el metabolismo de los principales nutrientes implicados en la obesidad y algunos componentes del metabolismo que se relacionan con la dimensión genética; lo que este componente aporta teóricamente a la comprensión biológica de los procesos de ingestión, digestión, absorción y metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas y cómo algunas alteraciones genéticas, como el desbalance en consumo y gasto energético (modelos nutricional-energético y dietético-metabólico), pueden incidir en la acumulación de grasa en el tejido adiposo y desencadenar obesidad y, por ende, enfermedades derivadas de ésta, como hipertensión, hiperlipidemia y diabetes tipo II, conocidas en conjunto como síndrome metabólico.

Inicialmente, se presenta la estructura y función de los carbohidratos y los lípidos. En segundo lugar, se explica la digestión de estas biomoléculas. En tercero, se explican los procesos metabólicos que intervienen en el catabolismo y anabolismo de carbohidratos y lípidos principalmente –porque las proteínas no cumplen un papel fundamental en la generación de lípidos y la acumulación de grasas–. Finalmente, se discute acerca del balance energético y cómo influyen sus alteraciones en el fenómeno de obesidad. Además, en la medida que se van explicando las vías metabólicas, se las relaciona con la expresión de algunos genes que codifican enzimas del metabolismo en cuestión y su incidencia en el almacenamiento de grasas o en la obesidad.

Nutrientes

Los nutrientes más importantes son los carbohidratos, los lípidos y las proteínas; aunque los minerales y vitaminas son indispensables porque participan en la catálisis de las reacciones biológicas.

Carbohidratos

Los carbohidratos son compuestos polihidroxilados con función aldehído o cetona o compuestos que por hidrólisis liberan estos polialcoholes. Los carbohidratos se clasifican en monosacáridos, disacáridos y polisacáridos (véase figura 2).

Los monosacáridos pueden ser cetosas –si tienen en su estructura función cetona– o aldosas –si tienen función aldehído–. Además, dependiendo del número de carbonos, pueden ser triosas, tetrosas, pentosas, hexosas, heptosas. La función fundamental de los monosacáridos es ser fuente inmediata de energía y ser precursores de los demás carbohidratos y formar otros compuestos con función estructural como la ribosa y desoxirribosa que forman parte de los nucleótidos. Como ejemplos de azúcares que generan energía podemos mencionar la glucosa y la fructosa, que son los más frecuentes en la dieta alimenticia. En la figura 3 se observa la estructura lineal y la estructura cíclica de algunos monosacáridos.

Figura 2. Clasificación de los polisacáridos

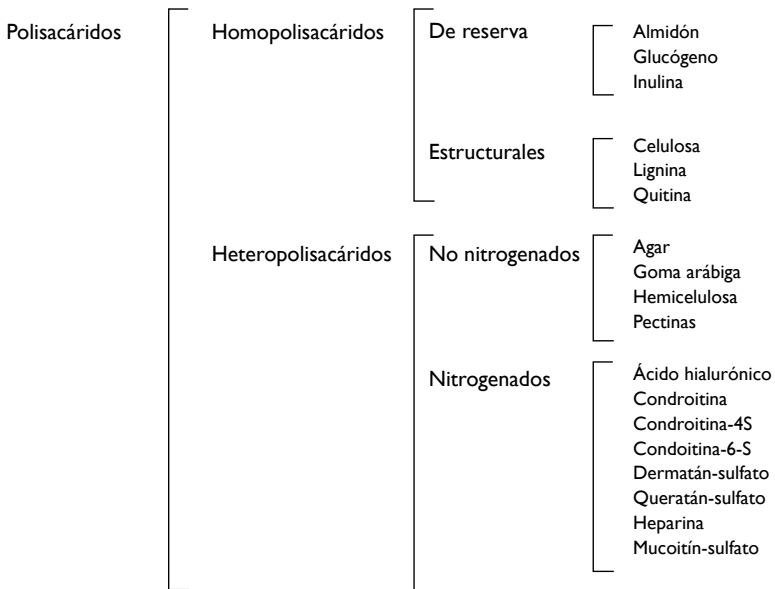
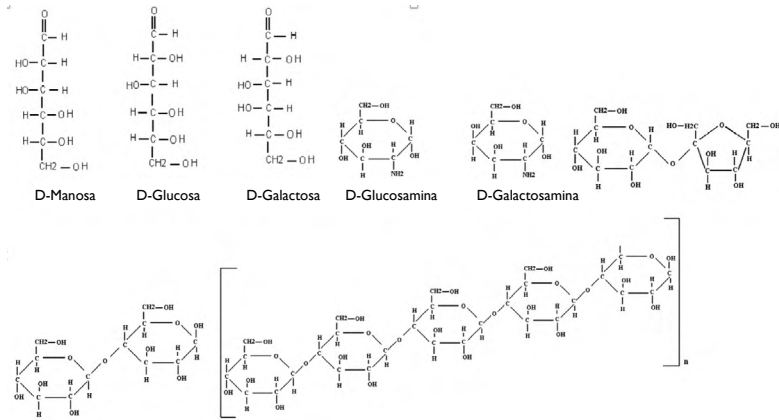


Figura 3. Ejemplos de monosacáridos, disacáridos y un polisacárido



Los disacáridos están formados por la unión de dos monosacáridos; los disacáridos más consumidos en la dieta son la sacarosa o azúcar de mesa y la lactosa o azúcar de la leche, estos azúcares tienen como función generar energía.

Los polisacáridos están conformados por muchas unidades de monosacáridos. El almidón, por ejemplo, es un homopolisacárido formado de glucosa, y es muy abundante en cereales, tubérculos y raíces. El almidón es una de las principales fuentes de carbohidratos en las poblaciones cuya dieta es abundante en cereales, como maíz, arroz y trigo, y en tubérculos, como la patata y la yuca; estos polisacáridos son reserva energética y son la principal fuente de glucosa en nuestra dieta. En la dieta alimenticia también consumimos polisacáridos no digeribles, fuente de fibra, como celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina y beta-glucano. Otros polisacáridos importantes son los heteropolisacáridos nitrogenados, dentro de los cuales podemos mencionar el ácido hialurónico, la condroitina sulfatada, el queratán-sulfato y el dermatán-sulfato que unidos a proteínas forman los proteoglicanos, importantes componentes del tejido conectivo como el cordón umbilical, los discos intervertebrales, el líquido sinovial, el humor acuoso, el humor vítreo. Es

importante resaltar que además de generar energía, los carbohidratos cumplen una función estructural en el organismo.

Lípidos

Los lípidos, comúnmente llamados grasas, son compuestos de variada estructura, pero tienen en común ser insolubles en agua y ser solubles en solventes orgánicos. Como consecuencia de la diversidad estructural es difícil clasificar los lípidos; cada autor propone una clasificación diferente y cada una puede presentar limitaciones e interpretaciones variadas.

Tabla 1. Clasificación de lípidos

Lípidos simples	Ejemplo	Lípidos compuestos	Ejemplo
Ácidos grasos	Ácido oleico	Ceras	Cera de abejas
Terpenoides	Vitamina E	Acilgliceroles	Triglicéridos
Carotenoides	Vitamina A	Fosfogliceroles	Lecitina o fosfatidilcolina
Esteroides	Colesterol	Esfingolípidos	Esfingomiolina
Prostaglandinas	PGE		
Tromboxanos	Txa		
Leucotrienos	Ltx 4		

Sin embargo, los lípidos se pueden clasificar en simples, es decir, aquellos que poseen una estructura molecular unitaria y no pueden sufrir ningún tipo de hidrólisis, y en lípidos compuestos, que son los que sufren hidrólisis en dos o más componentes. Al primer grupo pertenecen los ácidos grasos, terpenoides, esteroides, carotenoides, prostaglandinas, leucotrienos y tromboxanos. Al segundo, pertenecen las ceras, los acilgliceroles, los fosfoglicéridos y los esfingolípidos (véase tabla 1). Se explicarán, en algunos apartados, únicamente los lípidos simples y compuestos que están

más implicados con el metabolismo de las grasas y de los carbohidratos y que tienen implicación en el fenómeno de la obesidad, como los AG, los esteroides, las prostaglandinas (lípidos simples) y los acilgliceroles –lípidos compuestos (Herrera, 1991).

Ácidos grasos

Para la nutrición es importante mencionar la función de los ácidos grasos como fuente de energía y como precursores de otros lípidos simples y compuestos. Los ácidos grasos son en su mayoría ácidos monocarboxílicos de cadena lineal, con la fórmula general: R-COOH. En el sistema de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) se nombra el ácido añadiendo la terminación “ico” al nombre del alcano correspondiente y anteponiendo la palabra ácido. La posición de los grupos sustituyentes se indica por números, correspondiendo el número 1 al carbono del grupo carbono. En la nomenclatura común se nombran las posiciones de los sustituyentes usando letras del alfabeto griego: alfa, beta, gamma, delta, épsilon, entre otras. La letra alfa se refiere al carbono unido al grupo carboxilo, es decir, al carbono 2 en el sistema de IUPAC; la letra beta le corresponde al carbono 3; la letra gamma al carbono 4, y así sucesivamente.

Normalmente, los ácidos grasos se encuentran formando parte de otros lípidos, pero en pequeñas cantidades se encuentran como ácidos grasos libres –en el plasma se transportan unidos a la albúmina–, los cuales generalmente forman parte de seres vivos, contienen desde 4 hasta 36 átomos de carbono y son de cadena lineal con número par de átomos de carbono. Hasta 20 carbonos constituyen las grasas y con más de 20 carbonos constituyen las ceras.

Los ácidos carboxílicos tienen puntos de ebullición y de fusión más altos que otros compuestos orgánicos de peso molecular semejante, que no formen puentes de hidrógeno y/o que no sean polares. La presencia del grupo hidroxilo hace que los ácidos

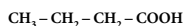
puedan formar puentes de hidrógeno con otras moléculas; ésta es, en buena parte, la causa del comportamiento físico de estos compuestos.

Los AG son moléculas anfipáticas porque poseen una región polar (grupo carboxilo) y una región apolar (cadena hidrocarbonada); es esta característica la que les permite, en presencia de agua, formar organizaciones moleculares llamadas micelas. Los puentes de hidrógeno y el número de átomos de carbono determinan la solubilidad de los ácidos grasos en agua. A medida que aumenta la cadena de carbonos se van haciendo cada vez más insolubles en agua, y a medida que disminuye se hacen más solubles. Esta propiedad influye en el paso de los AG a través de las membranas celulares.

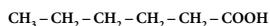
Los ácidos grasos presentes en la naturaleza son ácidos grasos saturados y ácidos grasos insaturados o no saturados. Los ácidos saturados se caracterizan porque todos los enlaces que presenta el carbono en la cadena hidrocarbonada son enlaces sencillos; son los que predominan en las grasas sólidas como el cebo. Los ácidos grasos insaturados se caracterizan porque en la cadena hidrocarbonada los átomos de carbono pueden presentar dobles ligaduras, como los ácidos linoleico, linolénico y araquidónico (poliinsaturados) que son conocidos como los “ácidos grasos esenciales”. Los animales alimentados con una dieta exenta de grasas no crecen, se vuelven estériles y presentan enfermedades cutáneas y renales. En el ser humano, especialmente en los niños, también son esenciales en la dieta. La carencia de estos ácidos provoca la aparición de enfermedades de la piel.

Figura 4. Ejemplos de ácidos grasos saturados e insaturados

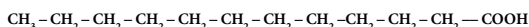
a) Ácidos grasos saturados



Ácido butanoico

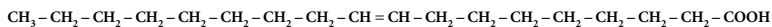


Ácido caproico

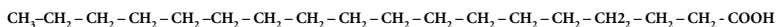


Ácido láurico

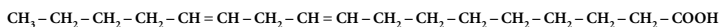
b) Ácidos grasos insaturados



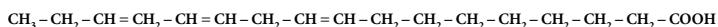
Ácido oleico



Ácido esteárico



Ácido linoleico



Ácido linolénico

En la naturaleza existen ácidos grasos polifuncionales. Son aquellos que contienen en su estructura otros grupos funcionales, como el grupo hidroxilo o el grupo cetona. Por ejemplo, el ácido beta-hidroxibutírico, el ácido alfa-hidroxiopropanoico o el ácido láctico, el ácido acetoacético, el ácido alfa-cetopropanoico o el ácido pirúvico.

Tabla 2. Ejemplos de ácidos grasos saturados e insaturados

Saturados/ Nombre	Núm. carbonos	Insaturados/ Nombre	Núm. carbonos	Núm. de dobles enlaces	
Butírico	4	Palmitoleico	16	1	16:1
Caproico	6	Oleico	18	1	19:1
Caprílico	8	Linoleico	18	2	18:2
Caprílico	10	Linolénico	18	3	18:3
Laúrico	12	Araquidónico	20	4	20:4
Mirístico	14	Nervónico	24	1	24:1
Palmítico	16				
Esteárico	18				
Araquídico	20				
Behénico	22				
Lignocérico	24				
Cerótido	26				
Montánico	28				
Melítico	30				

Otros ácidos grasos de importancia biológica son los ácidos dicarboxílicos y tricarboxílicos: ácido oxálico, ácido malónico, ácido succínico, ácido glutárico. Muchos hidroxiacidos, cetoácidos, ácidos di y tricarboxílicos son intermediarios importantes del metabolismo; por ejemplo, en el ciclo de Krebs o en la formación de cuerpos cetónicos, vías metabólicas importantes en el metabolismo y que se ven afectadas en procesos de obesidad y diabetes tipo II.

A nivel biológico, la principal reacción de los ácidos grasos es la esterificación; ésta sucede cuando un ácido reacciona con un alcohol, con la pérdida de una molécula de agua, ejemplo:



Esteroides

Los esteroides son lípidos que se sintetizan a partir del isopentenil-pirofosfato, su estructura está relacionada con la del anillo esterano o ciclopentanoperhidrofenantreno (los anillos tienen carácter saturado). Generalmente, las sustancias derivadas del ciclopentanoperhidrofenantreno tienen grupos metilo (-CH₃) en las posiciones 10 y 13 para originar los carbonos 18 y 19. En el carbono 17 a menudo se presenta una cadena lateral. La longitud de la cadena lateral y la presencia de metilos en C10 y C13 permiten agrupar estas sustancias en esteroides, esteroides que contienen uno o más grupos hidroxilo, tienen dos grupos metilo en C10 y C13, de 8 a 10 átomos de carbono en la cadena lateral, son abundantes y están ampliamente distribuidos en los organismos. Además, se pueden considerar derivados del colesterol o de su precursor el 7-deshidrocolesterol, con lo que los ácidos biliares tienen grupos metilo en posiciones C10 y C12 y en la cadena lateral 5 átomos de carbono. Así, los corticoides suprarrenales y la progesterona tienen dos carbonos en la cadena lateral; y los andrógenos y los estrógenos, en los cuales falta el metilo en C10 y no tienen cadena lateral.

Esteroles

El colesterol (3-hidroxi-5,6-colesteno) es un esteroide de 27 átomos de carbono, cuyo grupo hidroxilo adopta configuraciones B. Aunque se encuentra en ciertas algas, se considera como un esteroide típicamente de animales. Abunda en el tejido nervioso, pero se encuentra en las células de todos los tejidos, ya sea en forma libre o esterificado, con ácidos formando ésteres de colesterol.

El colesterol se sintetiza a partir de la condensación de tres moléculas de acetyl-CoA para formar mevalonato y éste por descarboxilación y activación se convierte en isopentenil pirofosfato (unidad isoprenoide activa). La unión de varias unidades isoprenoide origina el compuesto de 27 átomos de carbono. Los ésteres de colesterol son sustancias saponificables y la esterificación se hace

entre el grupo carboxilo (-COOH) del ácido graso y el grupo hidroxilo (OH) del carbono 3 del colesterol. Cuando el núcleo del colesterol pierde dos hidrógenos en los carbonos 7 y 8, se produce una doble ligadura entre ellos, y su estructura se parece más a la del ergosterol, esta sustancia es el 7-deshidrocolesterol. Cuando el ergosterol y el 7-deshidrocolesterol son sometidos a radiación ultravioleta originan una familia de compuestos con actividad vitamínica tipo D, dentro de los cuales se destacan el ergocalciferol y el colecalciferol.

Ácidos biliares

Los ácidos biliares son esteroides con 24 átomos de carbono, son sintetizados en el hígado a partir del colesterol, aproximadamente de 200 a 500 mg por día. El 75 % del colesterol es utilizado por el hígado para sintetizar los ácidos biliares. Se han aislado 7 ácidos biliares, los cuales se caracterizan por tener en el carbono 17 del anillo esterano una cadena de 5 átomos de carbono, siendo el último un grupo carboxilo. De acuerdo con su origen, los ácidos biliares se clasifican en primarios, secundarios y terciarios. Ejemplos de los primeros son los ácidos cólico y quenodesoxicólico; los ácidos desoxicólico, litocólico y 7-cetolitocólico son ejemplo de los secundarios; los ácidos sulfolitocólico y ursodesoxicólico son terciarios.

Los ácidos biliares primarios se sintetizan en el hígado a partir de colesterol no esterificado; los secundarios se forman en el intestino delgado por acción de la microbiota bacteriana, los cuales por modificaciones hepáticas y bacterianas posteriores producen los ácidos biliares terciarios. Los ácidos biliares difieren unos de otros en los grupos hidroxilo (OH) que contienen: el ácido cólico tiene 3 OH en los carbonos 3, 7 y 12; el ácido desoxicólico tiene 2 OH en los carbonos 3 y 12; el quenodesoxicólico tiene OH en los carbonos 3 y 7 y el ácido litocólico tiene OH en el carbono 3. Los ácidos primarios constituyen el 80 % de los ácidos biliares en el ser humano. Los ácidos glicocólico y taurocólico son los ácidos principales en la

bilis y se encuentran en una relación de 3 a 1; su secreción diaria es de 5 a 15 mg.

Hormonas esteroideas

Las hormonas derivadas de los esteroides se producen en las glándulas suprarrenales, el ovario y el testículo; de acuerdo con los efectos que producen se diferencian en cuatro tipos fundamentales: glucocorticoides, mineralocorticoides, esteroides gonadales y progestágenos. Los glucocorticoides gonadales y los estrógenos se sintetizan especialmente en el ovario; los andrógenos se producen fundamentalmente en el cuerpo lúteo del ovario. Es importante tener en cuenta que la glándula suprarrenal sintetiza todas las hormonas esteroideas, aunque en distinta proporción; el ovario y el testículo sintetizan ambos tipos de esteroides gonadales. La progesterona es sintetizada por todas estas glándulas, aunque no la segregan, por ser esta hormona un precursor de las demás.

Para el metabolismo de los carbohidratos, que son muy importantes en el fenómeno de la obesidad, los glucocorticoides son fundamentales porque son hormonas que contribuyen a regular el uso de la glucosa en el organismo: cuándo se oxida glucosa para proporcionar energía y cuando se almacena como glucógeno para las necesidades energéticas futuras. Los glucocorticoides tienden a evitar la captación de glucosa por los tejidos. Los glucocorticoides y la insulina mantienen el equilibrio del cuerpo entre el exceso y la falta de glucosa. También afectan la utilización de proteínas y grasas del cuerpo. La cortisona, el cortisol y la corticosterona son los glucocorticoides más importantes.

Prostaglandinas

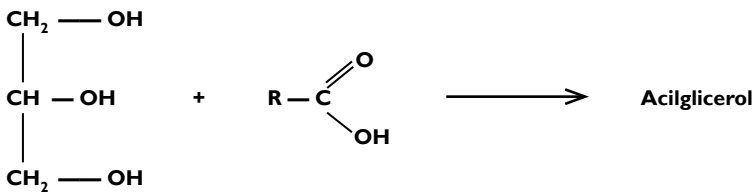
La obesidad se caracteriza porque se pueden presentar fenómenos de inflamación en las personas que la padecen y, dentro de los lípidos simples, las prostaglandinas son mediadores de la inflamación

con estructuras relacionadas con el ciclopentano, derivado de los ácidos grasos poliinsaturados como el araquidónico. Las prostaglandinas fueron descubiertas por Kurzrok y Lieb, en 1930, al estudiar el efecto del semen sobre el útero (Nassar, 1986). Al principio se pensaba que estos compuestos provenían de la próstata y por esta razón se le dio el nombre de prostaglandinas. Hoy se sabe que existen virtualmente en todos los tejidos de los mamíferos y actúan como hormonas locales. Tienen importantes actividades fisiológicas y farmacológicas. Las prostaglandinas se sintetizan en el cuerpo por oxidación y ciclación de cadenas lineales de ácidos grasos insaturados que contienen 20 carbonos (eicosanoicos). El ácido araquidónico se transforma en la estructura de una prostaglandina cuando los carbonos 8 y 12 se unen para formar un anillo ciclopentano.

La nomenclatura de las prostaglandinas se basa en el esqueleto del ácido prostanoico y cada una de ellas fue originalmente designada con una letra; dependiendo del tipo de sustituyente en su anillo ciclopentano y de su subíndice que indica el número de dobles enlaces en sus cadenas laterales. Por ejemplo, las prostaglandinas tipo E tienen el anillo ciclopentano con grupos hidroxilo y cetona, en posiciones 11 y 9 respectivamente. Las prostaglandinas F tienen grupos oxhidrilo en C9 y C11. Las prostaglandinas D son isómeros de las PGE, tiene un oxhidrilo en C9 y un grupo cetónico en C11. Las prostaglandinas A tienen un grupo cetónico en C9 y un doble enlace en C10–C11. Las prostaglandinas B tienen un grupo cetónico en C9 y un doble enlace en C8–C12.

Acilgliceroles

Los acilglicéridos, llamados también acilgliceroles o simplemente grasas, son ésteres de glicerol con ácidos grasos, por lo tanto, son considerados lípidos compuestos.



La estructura del glicerol permite establecer tres enlaces éster por poseer tres grupos hidroxilo, de acuerdo al número de ácidos grasos que se unan, los acilgliceroles se clasifican en:

- Monoacilgliceroles o monoglicéridos.
- Diacilgliceroles o diglicéridos.
- Triacilgliceroles o triglicéridos.

El ácido graso que se esterifique con el glicerol puede ser saturado o insaturado y puede tener hasta 20 o 24 átomos de carbono. Los acilgliceroles se almacenan en el tejido adiposo y pueden aumentar por el alto consumo de grasas o de carbohidratos. Su función es servir de reserva energética en estados de ayuno prolongado.

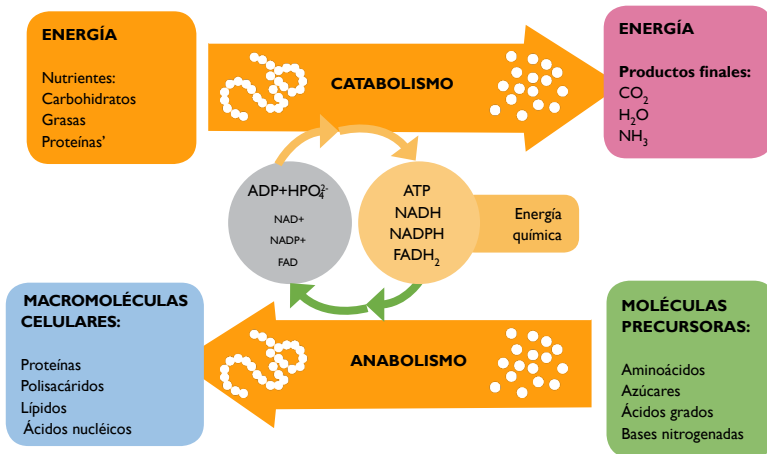
Metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas

El metabolismo se refiere al conjunto de transformaciones químicas que se producen en una célula o en un organismo; suceden a través de una serie de reacciones llamadas vías metabólicas y casi todas son catalizadas enzimáticamente. En cada una de las reacciones, los sustratos o reactivos sufren cambios químicos específicos, como eliminación, transferencia o adición de un grupo químico funcional. El reactivo o precursor en una vía se convierte en un producto pasando por una serie de metabolitos intermedios. El metabolismo incluye dos fases: el catabolismo y el anabolismo.

El catabolismo (figura 5) se refiere a la fase de degradación, en la cual los carbohidratos, los lípidos y las proteínas se convierten

en moléculas sencillas, como ácido láctico, ácido pirúvico, amoníaco, dióxido de carbono y agua; estas vías catabólicas liberan energía y, parte de ésta, se conserva en forma de ATP o en transportadores electrónicos reducidos, como nicotinamida-adenina-dinucleótido-reducido, fosfato de nicotinamida-adenina-dinucleótido reducido y flavina-adenina-dinucleótido-reducido (NADH, NADPH y FADH₂); el resto de energía producida se pierde en forma de calor. El anabolismo se refiere a la fase de biosíntesis, los precursores pequeños y sencillos se unen para formar moléculas de mayor tamaño y más complejas, como polisacáridos, proteínas, ácidos nucleicos. Las vías biosintéticas o anabólicas requieren gasto de energía proveniente de la transferencia del grupo fosforilo y de los agentes reductores NADH, NADPH y FADH₂ (figura 5).

Figura 5: Representación del metabolismo catabólico y anabólico



Fuente: Melissa Zuluaga, ajustado de Lenhinger, 2003.

Algunas rutas metabólicas son lineales, otras son cíclicas y otras tienen forma de espiral, como se verá más adelante. Antes de revisar las principales vías metabólicas que transforman carbohidratos y lípidos, y que son las biomoléculas cuyo metabolismo está más

implicado en el proceso de obesidad, se presentan a continuación los procesos de digestión y absorción; procesos que permiten convertir grandes moléculas, consumidas en la dieta alimenticia, en moléculas sencillas capaces de atravesar las células de la mucosa intestinal hacia el torrente sanguíneo, medio que tiene como finalidad transportar azúcares, aminoácidos, ácidos grasos, monoacilgliceroles a las células de los tejidos hepático y extrahepático para que puedan sufrir los procesos catabólicos o anabólicos, según los requerimientos del organismo.

Procesos de digestión y absorción

La digestión es un proceso de hidrólisis que se realiza en el tracto digestivo y tiene como finalidad desdoblar macromoléculas, como proteínas, ácidos nucleicos, polisacáridos y triglicéridos, hasta obtener biomoléculas sencillas, como aminoácidos, bases nitrogenadas, ácidos grasos, glicerol y azúcares.

Las reacciones de hidrólisis son catalizadas por enzimas llamadas hidrolasas y éstas tienen como función romper enlaces en presencia de agua. Las hidrolasas pueden romper varios tipos de enlaces. Por ejemplo, si rompen enlaces peptídicos entre los aminoácidos, se denominan peptidasas; si rompen enlaces glicosídicos entre azúcares, se llaman glicosidasas; si rompen enlaces éster entre ácidos y alcoholes, se llaman esterasas.

A continuación, se presentan algunas reacciones de hidrólisis. Identificar el tipo de enlace formado entre las moléculas y deducir la hidrolasa que cataliza la reacción, es un buen ejercicio para aprender a identificar las enzimas:

Figura 6. Hidrólisis de un disacárido

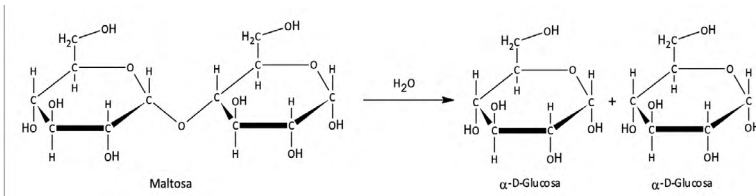


Figura 7. Hidrólisis de un triglicérido

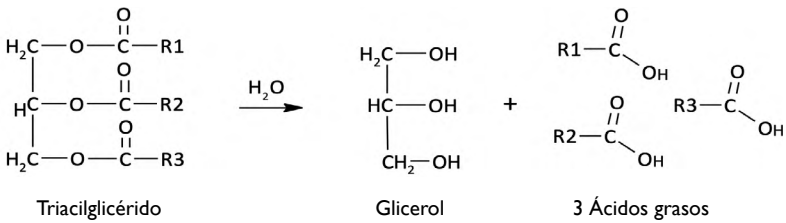
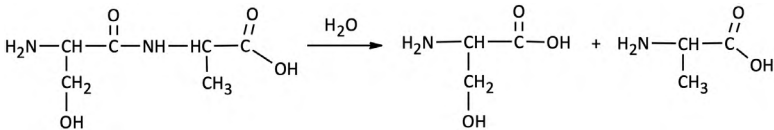


Figura 8. Hidrólisis de un dipéptido



Digestión de carbohidratos

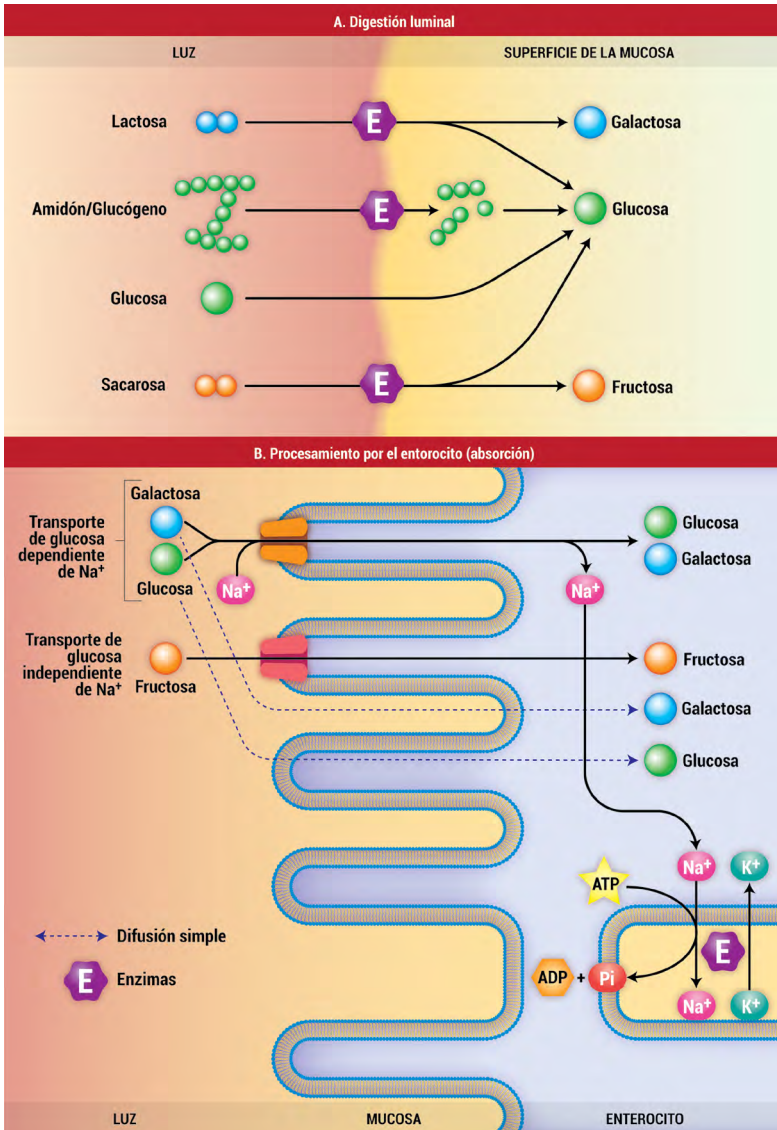
La digestión de polisacáridos empieza en la boca con el proceso de masticación y salivación, este último tiene la finalidad de hidratar los polisacáridos, proceso importante para la acción de la amilasa, enzima contenida en la saliva que hidroliza los enlaces glicosídicos alfa-1,4- entre las moléculas de glucosa que forman los polisacáridos provenientes de los alimentos de la dieta, como cereales, tubérculos y raíces, originando polisacáridos de cadenas de glucosas más cortas. Pero la digestión de carbohidratos en la boca no es muy importante, dado el corto tiempo que permanecen en esta estructura antes de pasar a través del esófago hacia el estómago.

En el estómago es liberado el jugo gástrico, uno de sus principales componentes es el ácido clorhídrico que actúa sobre los almidones (polisacáridos) y azúcares y, a su vez, inactiva la amilasa salival proveniente de la boca; esta inactivación conlleva impedir la hidrólisis de carbohidratos en esta porción del tubo digestivo.

En el intestino delgado, la amilasa pancreática continúa hidrolizando los polisacáridos complejos hasta formar carbohidratos de menor peso molecular, como las dextrinas, los oligosacáridos y los disacáridos. Estos últimos son hidrolizados por las disacaridasas para dar origen a monosacáridos, como glucosa, fructosa, galactosa, manosa, que luego serán absorbidos (véase figura 9).

La absorción consiste en el paso de nutrientes desde la luz del tubo intestinal hasta las células de la mucosa intestinal y desde éstas hasta el torrente sanguíneo (véase figura 9). En la parte apical de las células de la mucosa intestinal (prolongaciones de la membrana llamadas microvellosidades) se da un fenómeno de simporte, en el cual, por ejemplo, pasan a través de la proteína transportadora –una molécula de glucosa y dos iones sodio (Na^+)–. Los iones de sodio pueden intercambiarse en la bomba de sodio y potasio y las moléculas de glucosa pasan al torrente sanguíneo a través de los transportadores 2 de glucosa (GluT2), que se encuentran ubicados en la parte basal de la célula.

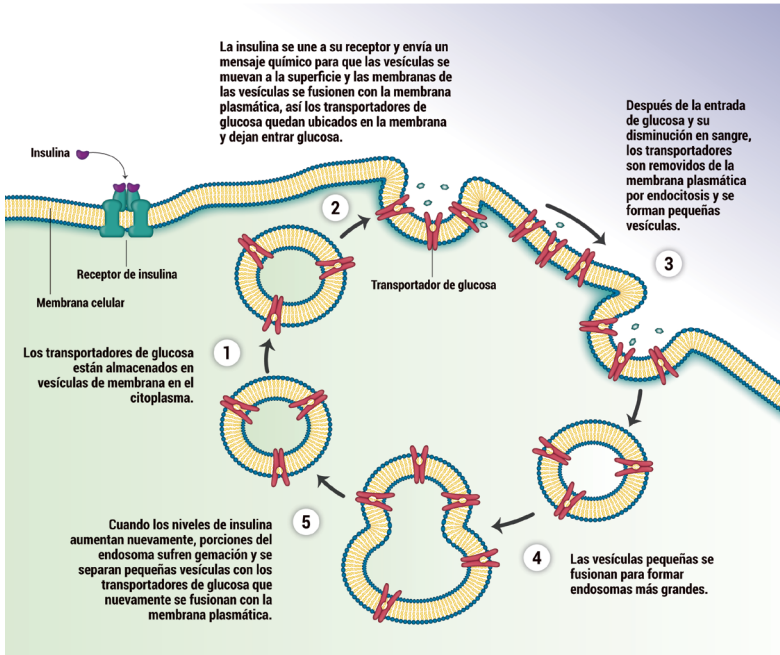
Figura 9. Representaciones de la digestión y la absorción de carbohidratos



Una vez que la glucosa es absorbida, ésta pasa al torrente sanguíneo, lugar donde se genera hiperglicemia, como consecuencia se libera insulina desde el páncreas al torrente sanguíneo con la finalidad

de facilitar la entrada de glucosa a los tejidos extrahepáticos, como aparece en la figura 10.

Figura 10. Mecanismo que permite la ubicación de los transportadores de glucosa en la membrana plasmática y su almacenamiento en vesículas en el citoplasma



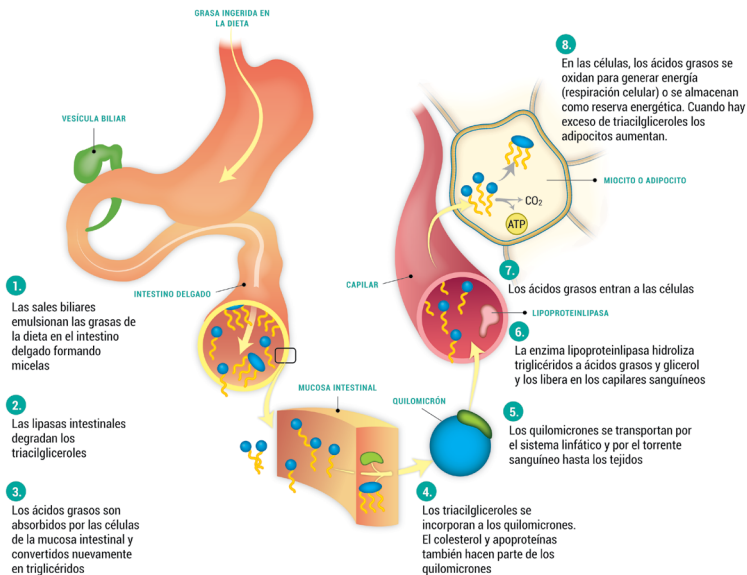
Fuente: adaptado de Orrego, Tamayo, Ruiz, 2016.

Digestión de lípidos

Los principales lípidos consumidos en la dieta (aproximadamente el 90 %) son triacilgliceroles y en menor proporción fosfolípidos, colesterol, ésteres de colesterol y ácidos grasos no esterificados. Estas moléculas son hidrofóbicas, deben hidrolizarse y emulsionarse a gotas muy pequeñas (micelas) por compuestos liposolubles antes de ser absorbidas por las células de la mucosa intestinal. Las vitaminas liposolubles A, D, E, K y muchos otros lípidos como el colesterol se absorben disueltos en micelas.

La digestión de triacilgliceroles inicia en la boca por acción de la lipasa lingual que rompe los enlaces éster entre el ácido graso y el alcohol del carbono 3 del glicerol, produciendo 1,2-diacilgliceroles y ácidos grasos libres (véase figura 11), aunque este proceso es muy limitado en la boca. En el estómago, el calor ayuda a licuar los lípidos y el peristaltismo contribuye a la formación de la emulsión lipídica, este proceso, también, es facilitado por las lipasas salival y gástrica. Al comienzo, la hidrólisis de los triacilgliceroles es lenta por las fases acuosa y lipídica separadas, pero una vez que comienza la producción de ácidos grasos, éstos sirven como surfactantes que fragmentan las gotas de grasa en partículas más pequeñas, lo que aumenta la superficie mejorando la rapidez de la hidrólisis. Luego los lípidos salen del estómago hacia el duodeno.

Figura 11. Representación de la digestión de lípidos



Fuente: Melissa Zuluaga, adaptado de Lenhinger, 2003.

En el duodeno, los ácidos biliares contribuyen a la solubilización; la secreción de ácidos biliares es estimulada por la hormona

colecistocinina. El páncreas segrega la lipasa pancreática que es protegida contra inactivación, de las sales biliares, por la colipasa pancreática. Por acción de estas enzimas, una porción muy pequeña de TG es hidrolizada completamente a ácidos grasos y glicerol; los productos principales de la digestión son los 2-monoacilglicérols (2-MAG), que son absorbidos por los enterocitos.

Las sales biliares solubilizan los lípidos porque ayudan a convertir las emulsiones en micelas, las cuales median el transporte del lípido digerido a través del medio acuoso del tubo intestinal hasta acercarlos hasta el borde en cepillo de los enterocitos (células de la mucosa intestinal) donde sucede la absorción.

La absorción de los lípidos en las células epiteliales del intestino delgado se lleva al cabo a través de la membrana plasmática por difusión. Casi el 100 % de los ácidos grasos y de los 2-MAG que son ligeramente hidrosolubles se absorben, mientras que lípidos insolubles en agua como el colesterol se absorben entre un 30 y un 40 %. Las sales biliares pasan al íleon, donde se absorben y pasan nuevamente al hígado por la llamada circulación enterohepática (Baynes y Dominiczak, 2006a, p. 125). Los ácidos grasos de cadena larga absorbidos se esterifican con glicerol para formar triacilglicérols, que luego forman parte de los quilomicrones para ser transferidos al sistema linfático.

Digestión de proteínas

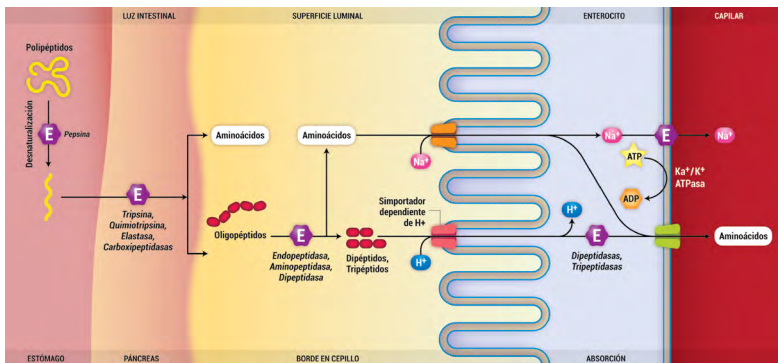
La hidrólisis de proteínas comienza en el estómago, el ácido clorhídrico baja el pH a 1 o 2; a este valor las proteínas sufren el proceso de desnaturalización, rompimiento de fuerzas intermoleculares que mantienen el plegamiento, proceso que las hace más accesibles a la acción enzimática de las proteasas (véase figura 12). Las células de la mucosa gástrica segregan pepsinas en forma de pepsinógenos A y B que se activan a pH inferiores a 5 o por auto catálisis de la pepsina activa. Cuando el pH del medio se encuentra por encima de 2, el péptido se une a la pepsina y la inhibe, pero cuando el pH desciende

a 2, la pepsina se activa y lleva a cabo el proceso de hidrólisis hasta formar péptidos y aminoácidos libres. La digestión de proteínas en el estómago estimula la secreción de colecistocinina en el duodeno, promoviendo la liberación de enzimas pancreáticas.

Las enzimas pancreáticas liberadas en el duodeno son quimiotripsina, elastasa y carboxipeptidasas A y B. La tripsina hidroliza los enlaces peptídicos entre lisina y aminoácidos aromáticos contenidos en la estructura de las proteínas. La elastasa rompe enlaces peptídicos entre aminoácidos hidrofóbicos, el efecto es producir aminoácidos libres y péptidos de bajo peso molecular que contienen entre 2 y 8 aminoácidos. Además, el páncreas libera bicarbonato sódico (NaHCO_3) que neutraliza el contenido ácido proveniente del estómago, facilitando, así, la actividad de la proteasa alcalina pancreática.

La digestión final se da por acción de enzimas endopeptidasas (ligadas a la membrana), dipeptidasas y aminopeptidasas que terminan de romper los enlaces péptidos de los dipéptidos y tripéptidos para producir aminoácidos libres. La absorción de los aminoácidos ocurre a través de la membrana, mediada por transportadores específicos. Los aminoácidos libres pasan luego a través de la membrana plasmática transluminal hasta el sistema portal.

Figura 12. Representación de la digestión de proteínas



Vías metabólicas importantes para comprender fenómenos de obesidad

En el metabolismo anabólico, se sintetizan moléculas, como glucógeno a partir de glucosa, que se almacenan en tejido muscular y hepático para servir como reserva energética en estados de ayuno. Además, cuando hay mucha disponibilidad de glucosa y la capacidad de almacenamiento del glucógeno se agota después de ingesta, la glucosa se oxida hasta acetyl-CoA y, a partir de este compuesto, se sintetizan ácidos grasos que al esterificarse con el glicerol dan origen a los triacilglicérols; los cuales se almacenan en el tejido adiposo, también, como reserva energética. Sin embargo, esta reserva puede contribuir a generar obesidad si el consumo de carbohidratos excede el gasto de energía por parte del organismo. En el gráfico (véase figura 13) se muestra un resumen del destino de la glucosa proveniente de los carbohidratos de la dieta, procesos activados por la insulina.

Como se mencionó anteriormente, el catabolismo tiene como finalidad degradar y oxidar nutrientes para producir energía; el anabolismo, por su parte, sintetiza moléculas complejas a partir de sustratos sencillos. En este proceso el organismo gasta energía. En la figura 14 se puede ver que cuando las principales biomoléculas (carbohidratos, lípidos y aminoácidos) se oxidan, generan acetyl-CoA que luego es utilizada por los tejidos para formar lípidos simples y lípidos compuestos.

Figura 13. Destino de la glucosa proveniente del consumo de carbohidratos

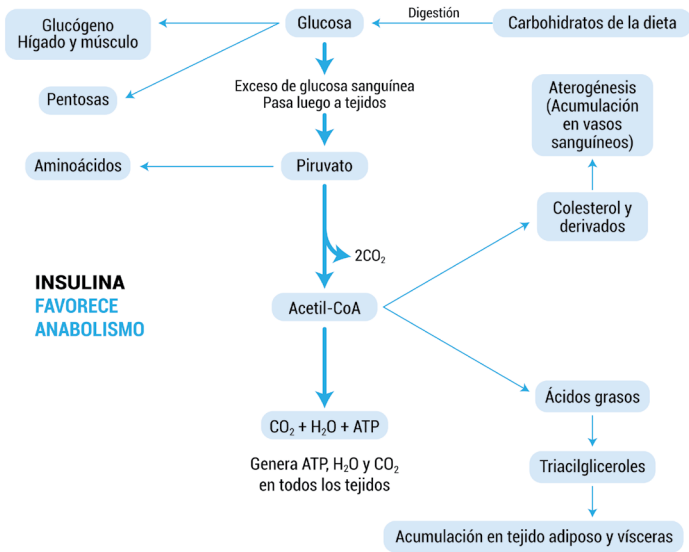
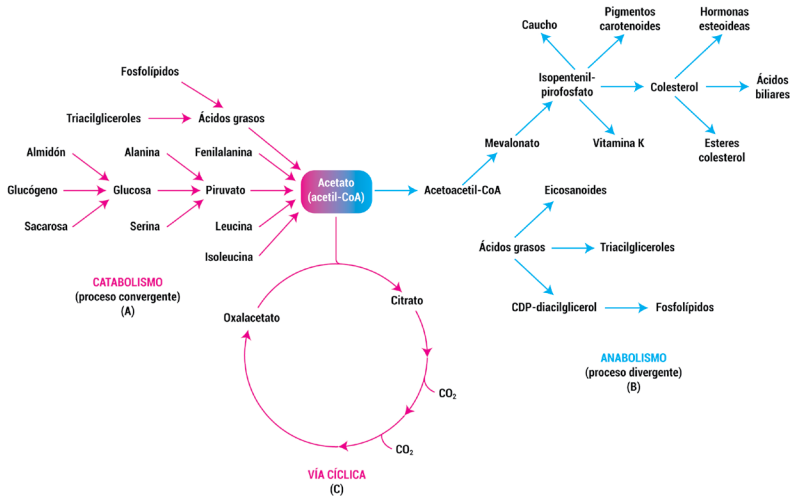


Figura 14. Producción y utilización de acetil-CoA. Representación resumida de la síntesis de lípidos simples y compuestos (anabolismo) a partir de acetil-CoA, que puede ser producida por catabolismo de carbohidratos, lípidos o proteínas



A continuación, realizamos la descripción en detalle de algunas vías catabólicas y anabólicas que son necesarias para explicar los fenómenos metabólicos de la obesidad, para integrarlas finalmente en un modelo que nos facilite su comprensión.

Para una mejor integración, se puede explicar el catabolismo desde el concepto de respiración celular que abarca tres etapas (véase figura 15). La primera tiene como función oxidar glucosa, ácidos grasos y aminoácidos, respectivamente, para producir metabolitos intermediarios como acetil-CoA, coenzimas con energía potencial como FADH_2 , NADH y moléculas de ATP. En la segunda etapa de la respiración, la acetil-CoA sufre un proceso de oxidación para producir FADH_2 , NADH , CO_2 y ATP. En la tercera etapa de la respiración celular, los equivalentes reductores con energía potencial (FADH_2 , NADH) se oxidan para generar H_2O y ATP y completar la oxidación de carbohidratos, lípidos y proteínas.

En la primera etapa de la respiración celular, en este capítulo, explicaremos tres vías metabólicas que producen acetil-CoA, equivalentes reductores y ATP: glucólisis, beta-oxidación de ácidos grasos y oxidación de un aminoácido (véase figura 15). En la segunda etapa describiremos el ciclo de Krebs. En la tercera etapa –de manera simple– haremos lo propio con la cadena respiratoria acoplada a la fosforilación oxidativa. Cada una de estas vías metabólicas es facilitada por la acción de enzimas. En general, las enzimas son moléculas proteicas que cumplen la función de catalizar reacciones químicas biológicas. En la tabla 2 se describen las seis clases de enzimas, sus funciones principales y un ejemplo de una reacción catalizada por cada clase (para mayor detalle véase Anexo 1).

Figura 15: Representación resumida de las fases 1, 2 y 3 de la respiración celular

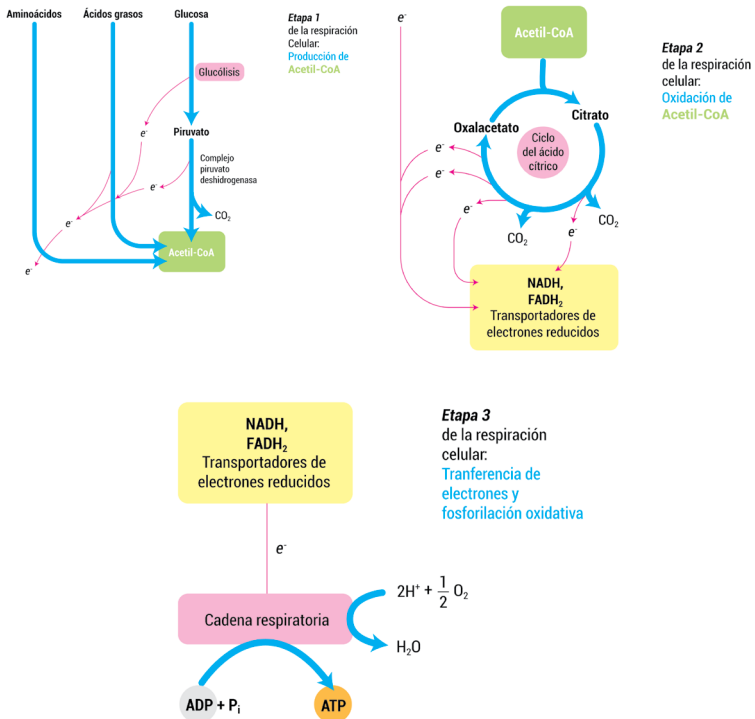


Tabla 2. Clases de catalizadores biológicos y reacciones bioquímicas

Clase de enzima	Función	Ejemplo de reacciones bioquímicas
I. Oxido-reductasas	Catalizar reacciones de oxidación-reducción: una sustancia se oxida y otra sustancia se reduce. En el ejemplo el lactato se oxida porque pierde hidrógeno.	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} - \text{O}^- \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3 \\ \text{Lactato} \end{array} \xrightarrow{\text{NAD}^+} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} - \text{O}^- \\ \\ \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \\ \text{Piruvato} \end{array} + \text{NADH} + \text{H}^+ $

Clase de enzima	Función	Ejemplo de reacciones bioquímicas
2. Transferasas	Transferir grupos químicos de un compuesto a otro compuesto. En el ejemplo un grupo fosfato es transferido desde el ATP hacia el gliceraldehído.	$ \begin{array}{ccc} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{CH} - \text{O} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{OH} \end{array} & \xrightarrow[\text{ATP}]{\text{Gliceraldehidocinasa}} & \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{CH} - \text{OH} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{OH} - \text{P} - \text{O}^- \\ \\ \text{O}^- \end{array} \\ \text{Gliceraldehído} & & \text{Gliceraldehído-3P} \end{array} $
3. Hidrolasas	Romper enlaces en presencia de agua. En el ejemplo un triglicérido es hidrolizado a glicerol y 3 ácidos grasos.	$ \begin{array}{ccc} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{O} - \text{C} - \text{R1} \\ \\ \text{CH} - \text{O} - \text{C} - \text{R2} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{O} - \text{C} - \text{R3} \end{array} & \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} & \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{OH} \\ \\ \text{CH} - \text{OH} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{OH} \end{array} + \begin{array}{c} \text{R1} - \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{OH} \\ \text{R3} - \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{OH} \\ \text{R2} - \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{OH} \end{array} \\ \text{Triaglicérido} & & \text{Glicerol} \quad \text{3 Ácidos grasos} \end{array} $
4. Liasas	Catalizar el rompimiento de enlaces en ausencia de agua. En la reacción el 2-fosfoglicerato se convierte en fosfoenolpiruvato por pérdida de agua dentro del mismo compuesto.	$ \begin{array}{ccc} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} - \text{O}^- \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{O} - \text{P} - \text{OH} \\ \quad \\ \text{CH}_2 - \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} & \longleftrightarrow & \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} - \text{O}^- \\ \\ \text{C} - \text{O} - \text{P} - \text{OH} \\ \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{OH} \end{array} \\ \text{2. Fosfoglicerato} & & \text{Fosfoenolpiruvato} \end{array} $
5. Isomerasas	Interconvertir isómeros entre sí, por ejemplo, pueden catalizar la conversión de isómeros de grupo funcional, reacciones de epimerización y cambio de posición de grupos químicos en un mismo compuesto.	$ \begin{array}{ccc} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{O} - \text{P} - \text{OH} \\ \\ \text{OH} \end{array} & \longleftrightarrow & \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{O} - \text{P} - \text{OH} \\ \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{OH} \end{array} \\ \text{Gliceraldehído-3-fosfato} & & \text{Gliceraldehído-2-fosfato} \end{array} $
6. Ligasas	Catalizar la unión de compuestos simples para formar moléculas más complejas. En el ejemplo la unión de oxalacetato con acetil-CoA forman citrato.	$ \begin{array}{ccc} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{O} - \text{SCoA} \end{array} & \xrightarrow[\text{H}_2\text{O}]{\text{CoA - SH}} & \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{COO}^- \\ \\ \text{OH} - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{CH}_2 - \text{COO}^- \end{array} \\ \text{Oxalacetato} & & \text{Citrato} \end{array} $

Primera etapa de la respiración celular

En este apartado describimos en primer lugar la glucólisis, después la beta-oxidación y finalmente la oxidación de un aminoácido.

Glucólisis

La glucólisis consiste en la degradación de una molécula de glucosa de 6 átomos de carbono a 2 moléculas de piruvato, formado por 3 carbonos, a través de una serie de 10 reacciones. En esta vía catabólica, parte de la energía liberada se conserva en forma de ATP y NADH. Las primeras cinco reacciones constituyen la fase preparatoria y las cinco últimas reacciones constituyen la fase de beneficios (figura 16).

En la fase preparatoria, las reacciones son las siguientes:

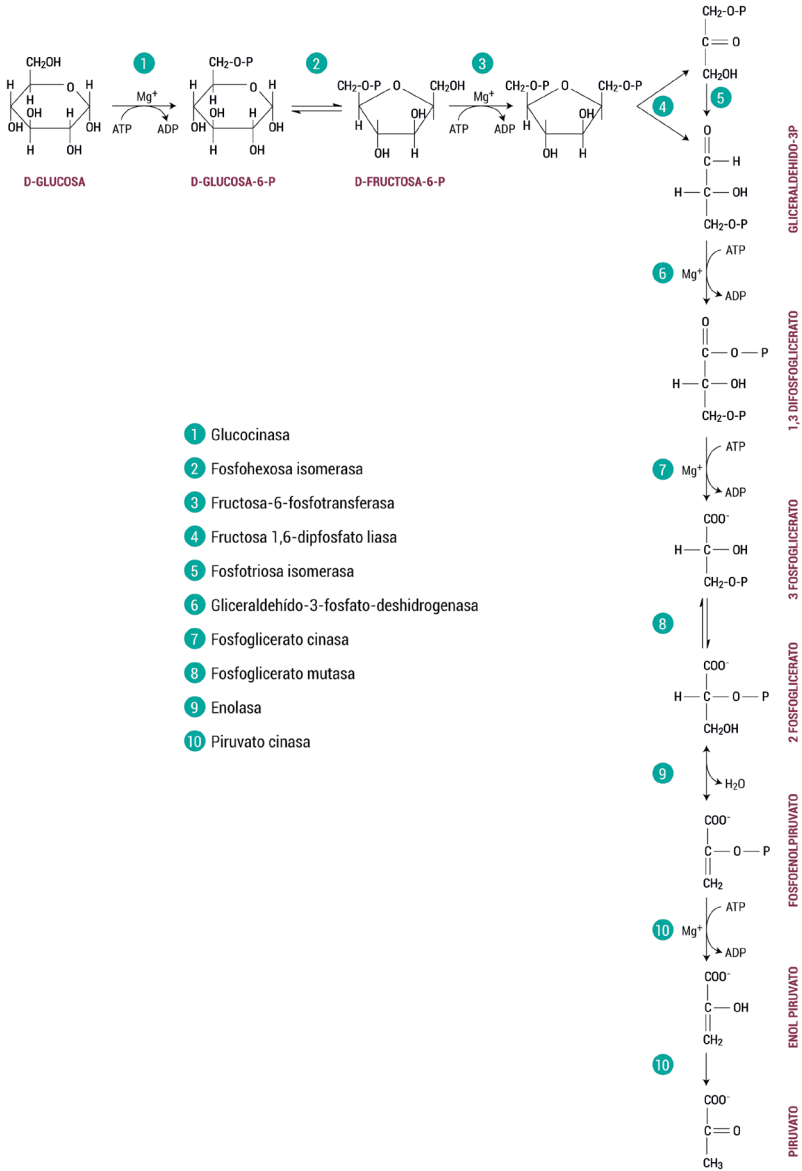
1. La glucosa es fosforilada a glucosa-6-fosfato por la enzima glucocinasa, en esta reacción se da la transferencia del grupo fosforilo del ATP al carbono 6 de la glucosa, convirtiéndose el ATP en ADP. El rompimiento del enlace anhídrido en el ATP libera 7.3 kcal y el enlace fosfoéster entre el fosforilo y el carbono 6 de la glucosa formado almacena 3.3 kcal. Esta reacción se constituye en la primera barrera energética ocasionando la irreversibilidad de la reacción.
2. La D-glucosa-6-P es convertida en D-fructosa-6-P a través de una enzima isomerasa.
3. La D-fructosa-6-P es fosforilada nuevamente en el carbono 1, originando D-fructosa-1,6-bifosfato, esta reacción es catalizada por fructosa-6-P-fosfotransferasa y el ATP es nuevamente el donador del grupo fosforilo.
4. La fructosa-1,6-bifosfato se fragmenta, por acción de una liasa, a dos moléculas de tres átomos de carbono: dihidroxiacetona-fosfato y gliceraldehído-3-fosfato, constituyéndose esta reacción en el paso de la lisis del cual proviene el nombre de glucólisis.

5. La dihidroxiacetona fosfato por isomerización se convierte a una segunda molécula de gliceraldehído-3-P, esta reacción constituye el final de la fase preparatoria de la glucólisis y se han invertido dos moléculas de ATP en la activación de la glucosa.

En la fase de beneficios se da el retorno energético a través de las siguientes reacciones:

6. Cada molécula de gliceraldehído-3-P es oxidada y fosforilada por fosfato inorgánico a 1,3-bisfosfoglicerato.
7. Las 2 moléculas de 1,3-bisfosfoglicerato son transformadas en 3-P-glicerato por acción de una fosfotransferasa; en este paso se generan las primeras dos moléculas de ATP, además de dos moléculas de NADH.
8. Las dos moléculas de 3-P-glicerato, por acción de una isomerasa-mutasa, se convierte en 2-fosfoglicerato.
9. Las dos moléculas de 2-fosfoglicerato se convierten en fosfoenolpiruvato, paso catalizado por una enzima deshidratasa.
10. Las moléculas de fosfoenolpiruvato se convierten en piruvato, en esta reacción se generan otras dos moléculas de ATP.
11. En conclusión, en la fase preparatoria de la glucólisis se consumen dos moléculas de ATP y en la fase de beneficios se producen 4 moléculas de ATP para una producción neta de 2 moléculas de ATP, dos moléculas de NADH y dos moléculas de piruvato por la oxidación de una molécula de glucosa en condiciones aerobias. En condiciones anaerobias el piruvato se convierte en lactato y la producción neta son dos moléculas de ATP.

**Figura 16. Vía metabólica glucólisis (primera etapa de la respiración celular).
Las primeras cinco reacciones corresponden a la fase preparatoria
y las últimas cinco a la fase de beneficios**



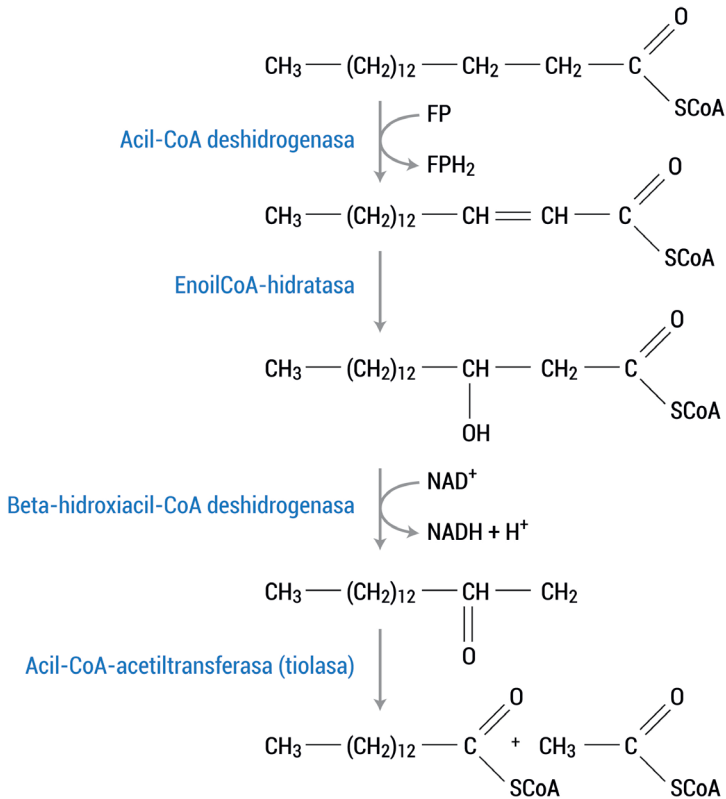
Beta oxidación de ácidos grasos

La beta-oxidación consiste en la eliminación oxidativa de dos átomos de carbono en forma de acetil-CoA, a partir del extremo carboxilo de la cadena de ácido graso, que luego entran a oxidarse en la segunda etapa de la respiración (ciclo de Krebs). En este proceso se generan equivalentes reductores NADH y FADH₂. En la beta-oxidación del ácido palmítico de 16 átomos de carbono suceden siete secuencias oxidativas para producir ocho moléculas de acetil-CoA (Murray, Granner y Rodwell, 2007).

Una secuencia oxidativa de la beta-oxidación de los ácidos grasos sucede a través de cuatro reacciones catalizadas enzimáticamente como sigue (véase figura 17):

1. En la primera reacción, el ácido graso activado en forma de acil-CoA se deshidrogena (pierde hidrógenos) entre los átomos de carbono alfa y beta (C-2 y C3) produciendo un trans- Δ^2 -enoil-CoA: la reacción es catalizada por acil-CoA deshidrogenada y los electrones eliminados son transferidos finalmente al FAD.
2. En la segunda reacción, se adiciona agua a los dos carbonos que comparten el doble enlace y se forma beta-hidroxiacil-CoA, reacción catalizada por enoil-CoA hidratasa.
3. En la tercera reacción, por acción de beta-hidroxiacil-CoA deshidrogenasa se deshidrogena el beta-hidroxiacil-CoA para producir-beta-cetoacil-CoA y el aceptor de electrones es el NAD⁺ que se convierte en NADH.
4. En la última reacción, la acetil-CoA-acetiltransferasa, comúnmente llamada tiolasa, cataliza la reacción entre el beta-cetoacil-CoA y una molécula libre de coenzima A (CoA) para generar la separación del fragmento carboxilo terminal de dos átomos de carbono, en forma de acetil-CoA del ácido graso original, el segundo producto de la reacción es un acil-CoA con dos átomos de carbono menos.

Figura 17. Vía metabólica beta-oxidación de ácidos grasos (primera etapa de la respiración celular)



El ácido graso con dos átomos de carbono menos sufre secuencias oxidativas consecutivas hasta formar en la última dos moléculas de Acetil-CoA. Finalmente, mientras que las moléculas de acetil-CoA entran a oxidarse al ciclo de Krebs (segunda etapa de la respiración celular), los equivalentes reductores NADH y FADH₂ entran a oxidarse en la cadena respiratoria para generar agua y ATP (tercera etapa de la respiración celular).

En conclusión, la beta-oxidación es un proceso catabólico para generar energía, principalmente en estados de ayuno o en personas con diabetes que tienen que obtener energía a partir de este proceso

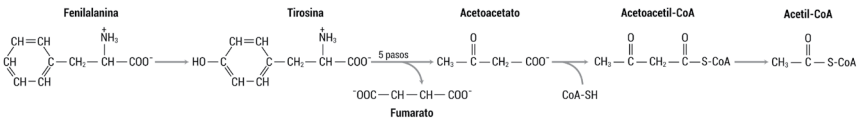
porque la deficiencia de insulina o el daño en los receptores no permite la entrada de glucosa a los tejidos extrahepáticos.

Oxidación de aminoácidos

Los procesos catabólicos de los aminoácidos representan únicamente del 10 al 15 % de la producción de energía del cuerpo humano. Los 20 aminoácidos que forman parte de las proteínas sufren procesos de degradación que generan productos que entran en el ciclo de Krebs (alfa-cetoglutarato, succinil-CoA, fumarato, oxalacetato, acetil-CoA). Como ejemplo se describirá la oxidación del aminoácido fenilalanina que produce acetil-CoA, metabolito común a la oxidación de glucosa y ácidos grasos. Las reacciones que conllevan la degradación de fenilalanina hasta acetil-CoA son las siguientes (figura 18):

1. La fenilalanina sufre un proceso de hidroxilación para convertirse en tirosina por acción de la fenilalanina hidroxilasa.
2. La tirosina-aminotransferasa transfiere el grupo amino de la tirosina hasta el alfa-cetoglutarato que se convierte en glutamato; la tirosina se convierte en p-hidroxifenilpiruvato.
3. P-hidroxifenilpiruvato dioxigenasa cataliza la conversión de p-hidroxifenilpiruvato a homogentisato y CO₂.
4. Homogentisato 1,2-dioxigenasa convierte homogentisato en maleil-aceto-acetato que por acción de maleil-acetoacetato isomerasa se interconvierte en fumaril-acetoacetato.
5. Fumaril-acetoacetato cetasa cataliza la conversión de fumaril-acetoacetato a acetoacetil-CoA.
6. Acetoacetil-CoA se fragmenta para dar origen a dos moléculas de acetil-CoA.

Figura 18. Resumen de la oxidación del aminoácido fenilalanina hasta producir Acetil-CoA (primera etapa de la respiración celular)



Ciclo de Krebs: segunda etapa de la respiración celular

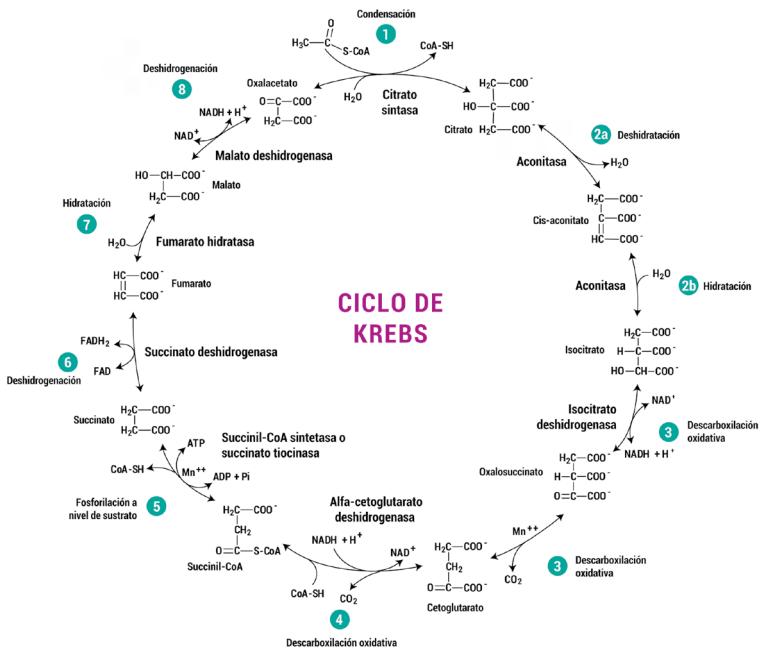
El ciclo de Krebs es la vía final de oxidación de carbohidratos, lípidos y proteínas, puesto que el catabolismo de glucosa, de ácidos grasos y de aminoácidos genera acetil-CoA. Se considera al ciclo de Krebs como la segunda etapa de la respiración celular, en la cual se oxida acetil-CoA para generar dos moléculas de CO_2 , 3 moléculas de NADH, 2 moléculas de FADH_2 y una molécula de ATP a nivel del sustrato (véase figura 18). El catabolismo de carbohidratos, lípidos y aminoácidos también produce otros intermediarios como oxalacetato, fumarato, alfa-cetoglutarato, entre otros. El ciclo de Krebs es conocido también como el ciclo de los ácidos tricarbónicos o ciclo del ácido cítrico.

Las moléculas de acetil-CoA generadas en los procesos oxidativos se oxidan en el ciclo de Krebs a través de las siguientes ocho reacciones (véase figura 19):

1. Una molécula de acetil-CoA se condensa con oxalacetato para producir citrato por acción de citrato sintasa.
2. El citrato es transformado reversiblemente a isocitrato por aconitato hidratasa, llamada comúnmente como aconitasa. En esta reacción se genera el intermediario cis-aconitato.
3. El isocitrato sufre descarboxilación oxidativa a alfa-cetoglutarato por isocitrato deshidrogenasa; en esta reacción, además del alfa-cetoglutarato y el CO_2 se forma NADH.
4. La molécula de alfa-cetoglutarato por acción del complejo enzimático de la alfa-cetoglutarato deshidrogenasa sufre descarboxilación oxidativa para producir succinil-CoA y

- CO₂. El NAD⁺ es el aceptor de electrones y CoA es el transportador del grupo succinilo.
- El succinil-CoA se convierte en succinato por acción de succinil-CoA sintetasa o succinato tioquinasa, el rompimiento del enlace tioéster entre succinil y CoA libera energía suficiente para forma una molécula de GTP (equivalente a ATP) a nivel del sustrato.
 - El succinato se oxida a fumarato por la enzima succinato deshidrogenasa, en esta reacción la coenzima aceptor de electrones es el FAD.
 - El fumarato se hidrata por acción de fumarato hidratasa y se convierte en malato.
 - El malato sufre oxidación a oxalacetato por malato deshidrogenasa, el aceptor de electrones en esta reacción es NAD⁺. En este paso, el oxalacetato termina la vía cíclica.

Figura 19. Vía metabólica ciclo de Krebs (segunda etapa de la respiración celular)



En conclusión, el ciclo de Krebs tiene como finalidad producir CO_2 , ATP a nivel del sustrato y equivalentes reductores NADH y FADH_2 que pasan a oxidarse en la cadena respiratoria (etapa final de la respiración celular). Aunque no es el propósito de este apartado, es importante mencionar que el ciclo de Krebs es una vía metabólica anfibólica que participa en procesos tanto catabólicos como anabólicos.

Cadena respiratoria: tercera etapa de la respiración celular

La cadena respiratoria es un proceso de oxidación reducción complejo. En este proceso se libera energía suficiente para que el ADP se convierta en ATP, a través de un proceso llamado fosforilación oxidativa. La cadena respiratoria es un sistema transportador de equivalentes reductores (NADH, FADH_2) desde un compuesto de bajo potencial redox hasta un compuesto de alto potencial redox. También se puede decir que la cadena respiratoria es un conjunto de reacciones de oxidación-reducción que tiene como finalidad transportar equivalentes reductores, en ese proceso se libera energía para generar ATP. La formación de ATP acoplada al conjunto de reacciones de oxidación reducción se denomina fosforilación oxidativa (véase figura 20).

En la membrana interna se alojan diversos complejos proteicos que conforman la cadena respiratoria. Tales complejos transportan electrones cedidos por moléculas producidas durante la oxidación de lípidos y carbohidratos. Durante este proceso se produce el bombeo activo de protones desde la matriz mitocondrial hasta el espacio intermembranal, atravesando la membrana interna mitocondrial. El proceso genera un gradiente electroquímico y determina el aumento del potencial de membrana que actúa como una fuerza motriz que reintroduce los protones en la matriz mitocondrial. El transporte de electrones está acoplado con la síntesis de energía, es decir, de trifosfato de adenosina (ATP), en el complejo proteico de la ATP

sintetasa. Los protones previamente bombeados hacia el espacio intermembrana entran de nuevo en la matriz utilizando esa enzima y, en presencia de ADP, forman ATP. Por lo tanto, el transporte de electrones en la cadena respiratoria liberados está acoplado a la producción de energía en la ATP sintetasa. Al interponerse a ese proceso, una proteína desacoplante mitocondrial (UCP) permite la reentrada de protones en la matriz mitocondrial sin pasar por la ATP sintetasa, a modo de cortocircuito sin producción neta de energía y disipándose en forma de calor (Vidal-Puig, 2002, p. 36).

Figura 20. Representación de la cadena respiratoria en la membrana interna mitocondrial y el acoplamiento a la fosforilación oxidativa (síntesis de ATP). e⁻ electrón, H⁺ protón, I, II, III, IV, Q, C son los complejos proteicos de la cadena respiratoria. $\Delta\mu H$, potencial de membrana; ROS, radicales libres de oxígeno

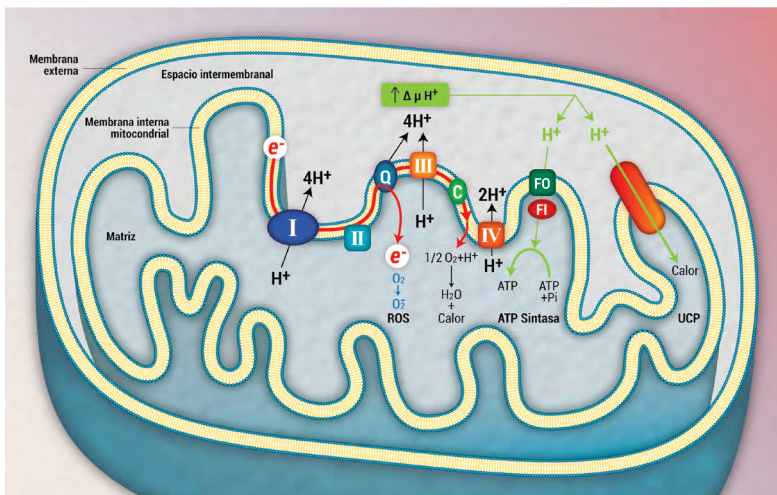
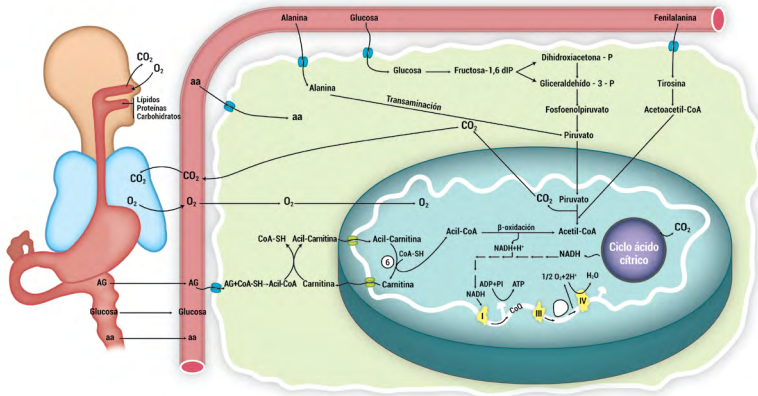


Figura 21. Modelo del proceso de respiración celular a partir de glucosa, ácidos grasos y aminoácido fenilalanina



Fuente: adaptado de Tamayo, Orrego, Dávila, 2014.

Biosíntesis de lípidos: anabolismo

En este apartado explicamos la biosíntesis de ácidos grasos y la síntesis de triacilglicérolos que son las grasas que se almacenan en tejido adiposo y otros órganos como vísceras. Estos lípidos se sintetizan principalmente en el hígado, el tejido adiposo y las glándulas mamarias. La acetil-CoA es el sustrato inicial para la síntesis, tanto de lípidos simples como lípidos compuestos. A continuación, presentamos una breve descripción de los dos procesos anabólicos.

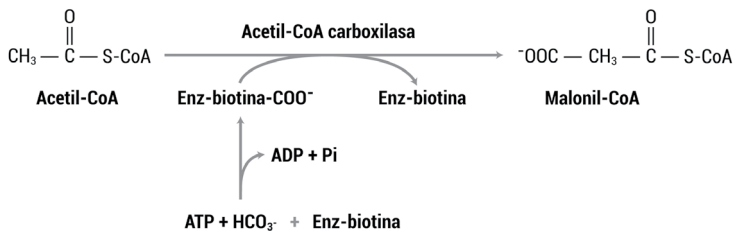
Biosíntesis de ácidos grasos

Los ácidos grasos se sintetizan después de la ingesta cuando se presenta un exceso de acetil-CoA, proveniente de la oxidación biológica de compuestos como la glucosa. Son el sustrato inicial para la síntesis de triacilglicérolos que se almacenan en el tejido adiposo y las vísceras y para la síntesis de fosfolípidos, como plasmalógenos, fosfoinositósidos, fosfátidos, y para la síntesis de esfingolípidos.

La biosíntesis de ácidos grasos se presenta en los tejidos del riñón, el hígado, el encéfalo, el pulmón, la glándula mamaria y el tejido adiposo. Es un proceso que se realiza en el citosol. El sustrato inicial es la acetil-CoA que genera el intermediario malonil-CoA; se requiere ATP, HCO_3^- y NADPH, que se produce en la vía de las pentosas fosfato. La síntesis de AG en el hígado puede darse a partir de glicerol que es fosforilado por la glicerol cinasa, pero en el tejido adiposo esta enzima no se expresa y la fuente de glicerol-3-P es la dihidroxiacetona-P (DHAP), proveniente de la oxidación de la glucosa, es decir, en tejido adiposo sólo se almacenan AG cuando se activa la glucólisis en estado bien alimentado (Baynes y Dominiczak, 2016). Por lo tanto, los AG aportarán a la formación de TG cuando hay alto consumo de carbohidratos en la dieta o alto consumo de grasas. A continuación, se describe de manera general la síntesis de los AG aportarán a la formación de TG:

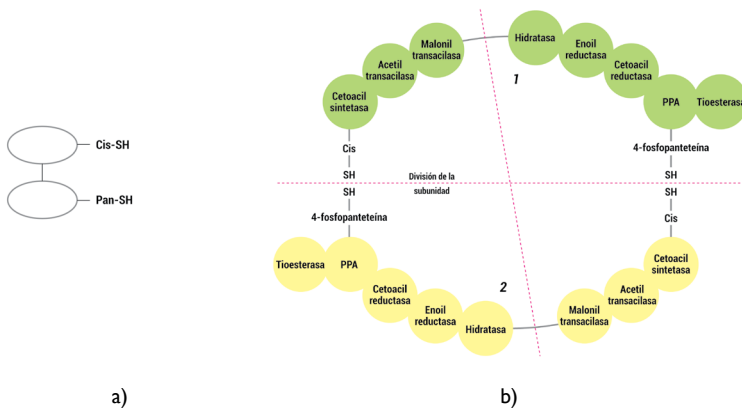
1. El exceso de citrato producido en el ciclo de Krebs, a partir de la unión de acetil-CoA y oxalacetato, sale de la mitocondria y en el citosol sufre rompimiento para producir oxalacetato y acetil-CoA por acción de la enzima ATP-citrato-liasas (véase figura 22).
2. Para la biosíntesis es necesario que muchas moléculas de acetil-CoA se carboxilen para formar malonil-CoA, como se muestra a continuación:

Figura 22. Formación de malonil-CoA, intermediario en la síntesis de ácidos grasos



- Las enzimas que catalizan la biosíntesis de ácidos grasos forman un complejo multienzimático. Este complejo es un dímero; en las especies animales cada monómero es idéntico al otro y está formado por seis enzimas y la proteína transportadora de acilos (ACP) que tiene un grupo fosfopanteteína-SH, este residuo está próximo al grupo SH de un residuo de cisteína de la enzima cetoacil sintetasa del otro monómero. Los dos monómeros se pueden representar como aparece en la figura 23.

Figura 23. Representación del complejo multienzimático de los ácidos grasos sintetasa: a) representación simple; b) representación con los componentes enzimáticos



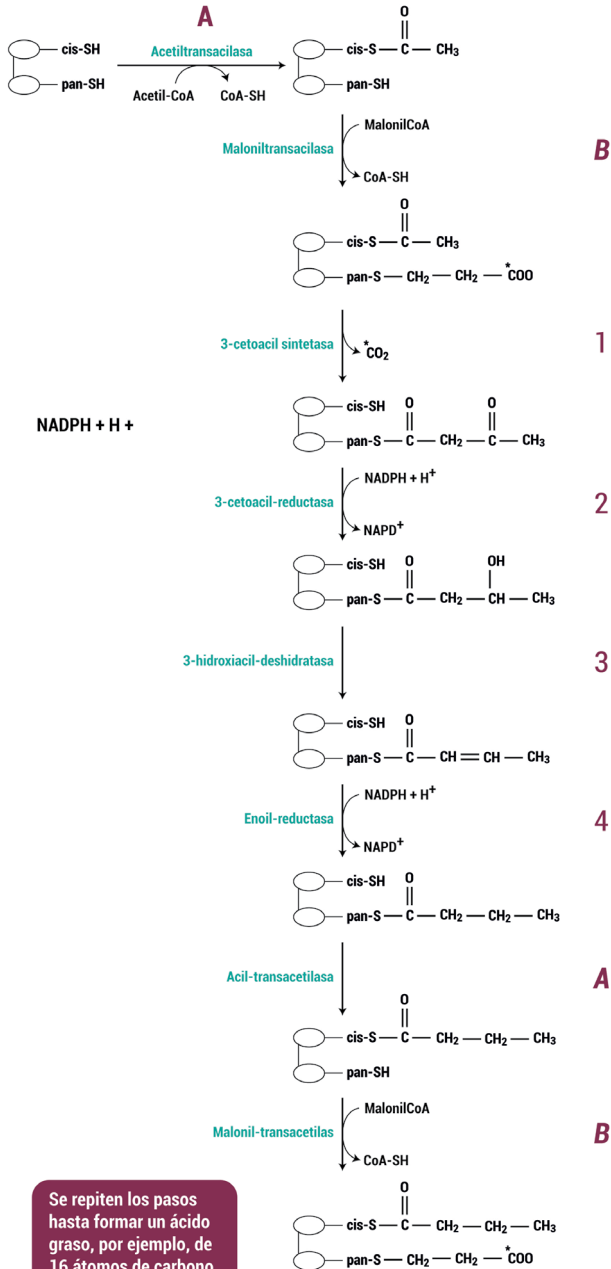
Las enzimas del dímero multienzimático y sus funciones son las siguientes (figura 23b):

- Proteína portadora de acilos (PPA): transporta grupos acilo desde la coenzima A (CoA) hasta un residuo de cisteína de la enzima cetoacil sintetasa (CAS).
- Acetil transacilasa (AT): es una transferasa que lleva grupos acilo desde CoA hasta un residuo de cisteína de CAS (paso A en la figura 24).
- Malonil- transacilasa (MT): transfiere el grupo malonilo desde el CoA a la PPA (paso B en la figura 24).

- d) Cetoacil sintasa (CAS): cataliza la condensación de grupos acilo y malonilo (paso 1 en la figura 24).
 - e) Cetoacil reductasa (CAR): reduce el grupo beta-ceto al grupo beta-hidroxi del acilo (paso 2 en la figura 24).
 - f) Deshidratasa (DH): elimina una molécula de agua del beta-hidroxi-PPA formando un doble enlace (paso 3 en la figura 24).
 - g) Enoil reductasa (ER): reduce el doble enlace formando acil-PPA saturado (paso 4 en la figura 24).
4. Una vez que se forman múltiples moléculas de malonil-CoA, la síntesis sucede a través de una secuencia repetitiva de reacciones para formar, por ejemplo, un ácido graso de 16 átomos de carbono (véase figura 24).
 5. Una vez se ha sintetizado el ácido graso de 16 átomos de carbono (ácido palmítico) una enzima tioesterasa rompe el enlace tioéster para liberar el ácido graso del complejo multienzimático.

En conclusión, la biosíntesis de ácido graso se da a partir de moléculas de acetil-CoA, el intermediario malonil-CoA, ATP, coenzimas como biotina, NADPH y el complejo multienzimático del ácido graso sintetasa, pero en tejido adiposo dicha síntesis sucede cuando hay abundante suministro de DHAP proveniente de la glucólisis en estado bien alimentado. Los ácidos grasos pueden ser esterificados para formar triacilglicérols, que se almacenan en tejido adiposo y vísceras, y servir como reserva energética en estados de ayuno o pueden esterificarse para dar origen a fosfolípidos y fosfátidos que cumplen función estructural en las membranas celulares, además de ser sustratos en la formación de ésteres de colesterol.

Figura 24. Representación de la biosíntesis de ácidos grasos



Se repiten los pasos hasta formar un ácido graso, por ejemplo, de 16 átomos de carbono

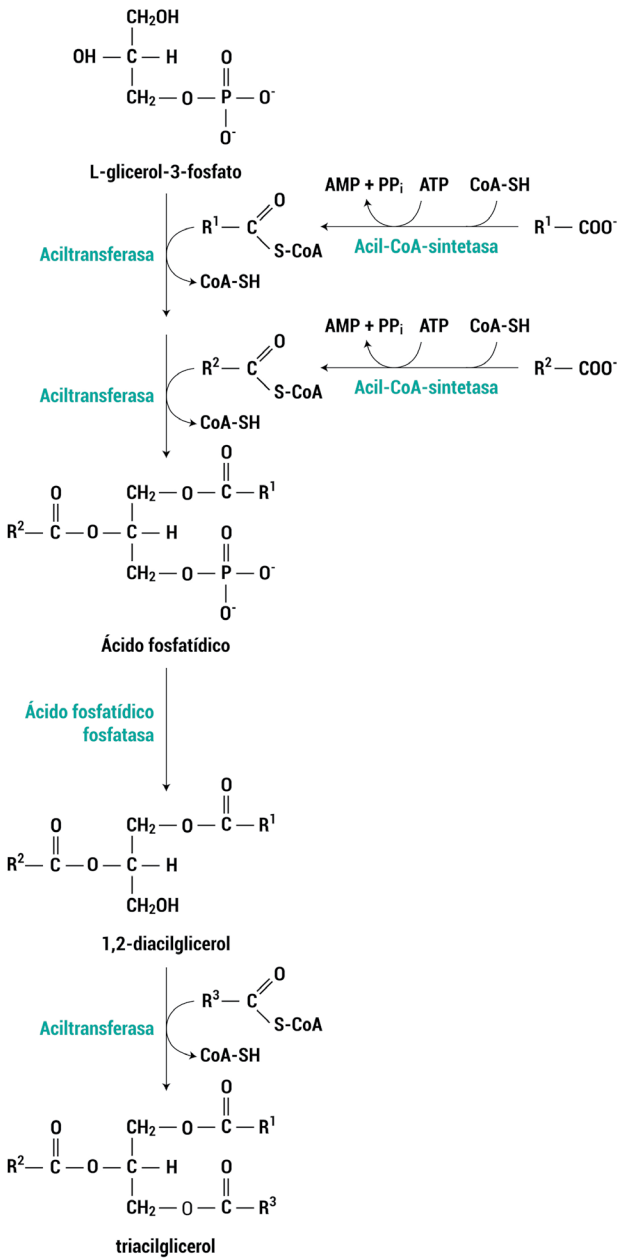
Síntesis de triacilgliceroles

Los ácidos grasos se esterifican con glicerol para formar los triacilgliceroles (TAG) que sirven de almacenamiento de energía metabólica; los organismos que tienen un aporte abundante de carbohidratos y lípidos y que no se encuentran en proceso de crecimiento activo desvían la mayor parte de ácidos grasos hacia la formación de grasas de almacenamiento. Los precursores para la síntesis de los TAG son el acil-CoA (ácidos grasos activados con CoA) y el glicerol-3-fosfato. El glicerol-3-fosfato puede formarse a partir de dihidroxiacetona-fosfato, formada en la glucólisis por acción del glicerol-3-fosfato deshidrogenasa o a partir del glicerol por acción del glicerol quina-sa. Los ácidos grasos-CoA formados a partir de ácidos grasos por acción de acil-CoA sintetasa. Los pasos para la síntesis de los TAG se describen sintéticamente a continuación (véase figura 25):

1. Primero dos ácidos grasos se esterifican con los grupos hidroxilo libres del glicerol-3-fosfato para formar 1,2-diacilglicerol-3-fosfato, más comúnmente llamado ácido fosfatídico. La esterificación es catalizada por enzimas aciltransferasas.
2. El ácido fosfatídico es hidrolizado a 1,2-diacilglicerol por acción del ácido fosfatídico fosfatasa.
3. El diacilglicerol se convierte en los TAG por esterificación con un tercer ácido graso-CoA, reacción catalizada por una aciltransferasa.

En conclusión, los TAG se sintetizan a partir del acil-CoA y el glicerol-3-fosfato. Su función fundamental es almacenar energía metabólica. En la especie humana, la grasa corporal almacenada permanece constante durante largos periodos de tiempo, pero cuando se consumen carbohidratos, lípidos o proteínas por encima de las necesidades básicas, ese exceso es almacenado como los TAG para ser gastado en estados de ayuno en condiciones normales. El proceso de almacenamiento es alterado por la ingesta excesiva o por otras condiciones, como alteraciones hormonales, genéticas, comportamentales o culturales.

Figura 25. Representación de la síntesis de triacilglicerol



Metabolismo, regulación hormonal del tejido adiposo y obesidad

Después de hacer una descripción general de las principales vías metabólicas implicadas en el proceso de respiración celular y de las vías biosintéticas que permiten la síntesis de los triacilgliceroles (TAG), moléculas que se almacenan fundamentalmente en el tejido adiposo, realizamos una descripción integral de los fenómenos metabólicos y hormonales que permiten comprender el fenómeno biológico de la obesidad.

Enseguida del proceso de digestión que incluye: ingestión, digestión y absorción de nutrientes desde la mucosa intestinal hasta la circulación por el torrente sanguíneo, como se explicó anteriormente, en respuesta al aumento de concentración de glucosa en sangre conocido como hiperglicemia, el páncreas segrega a la circulación una cantidad de insulina equivalente a la concentración de glucosa.

La insulina, hormona producida por las células beta de los islotes de Langherans del páncreas, es un polipéptido de 100 aminoácidos que tiene como función unirse a sus receptores en las células de los tejidos extrahepáticos (excepto el cerebro y eritrocito no dependientes de insulina) e inducir un proceso de señalización intracelular que favorece la expresión de los transportadores de glucosa en las membranas plasmáticas para que la glucosa pueda entrar al interior de las células, como se mostró en la figura 9. Este paso de glucosa al interior de las células causa la disminución de glucosa en el torrente sanguíneo, razón por la cual la insulina ha sido denominada hormona hipoglicemiante. La insulina es, además, la única hormona hipoglicemiante y las alteraciones genéticas o el daño de sus receptores genera hiperglicemia permanente; es decir, obtención de energía a partir de lípidos, polifagia, polidipsia, los cuales son signos característicos de la diabetes. Además, como una de las principales funciones de la insulina es regular la ingestión de alimentos –disminuyendo el apetito–, su deficiencia provoca el efecto contrario, generando hiperfagia (Baynes y Dominiczak, 2006b,

p. 210), o sea, alargamiento y aumento de los adipocitos por aumento de triacilgliceroles. Como consecuencia, en muchos casos, el aumento de grasas se da a nivel visceral.

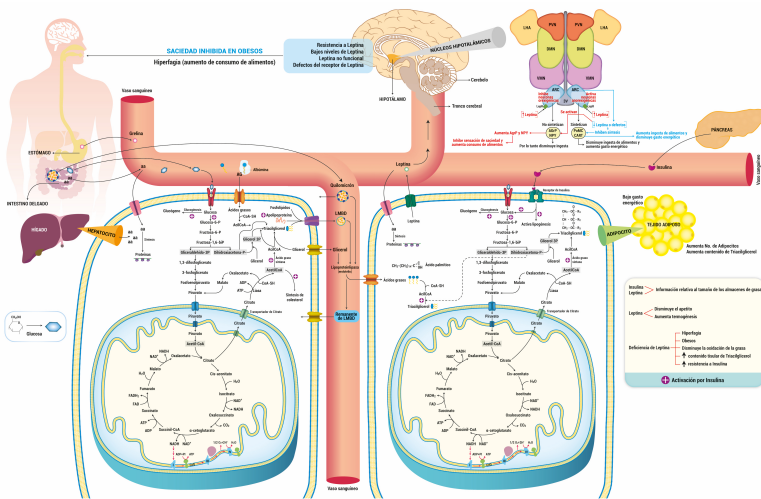
Una vez que la glucosa entra a las células en estado postprandial, se inicia el proceso metabólico denominado respiración celular. Como se muestra en el gráfico de la figura 26, la glucosa se oxida a través de la glucólisis (primera etapa de la respiración celular) hasta formar dos moléculas de NADH, dos moléculas de ATP y dos moléculas de piruvato. El destino del piruvato depende del tipo celular y de las circunstancias metabólicas. Por ejemplo, puede ser que el piruvato sufra descarboxilación oxidativa para convertirse en acetil-CoA y que luego esta molécula entre a oxidarse al ciclo de Krebs (segunda etapa de la respiración celular), para producir CO_2 y equivalentes reductores (NADH, FADH_2), que se oxidarán en la cadena respiratoria (tercera etapa de la respiración celular); los productos finales serán ATP y H_2O . De esta manera, los carbohidratos cumplirán su función energética en el organismo y esta energía será utilizada en la biosíntesis de otras biomoléculas, en el transporte activo y en la realización de trabajo mecánico como la contracción muscular.

En general, después de la ingesta, la insulina, hormona hipoglucemiante, activa vías de señalización intracelular que inducen el metabolismo anabólico como síntesis de glucógeno (glucogénesis), síntesis de proteínas (traducción) y síntesis de lípidos, como colesterol y sus derivados –síntesis de ácidos grasos y triacilgliceroles– lipogénesis (véase figura 26).

El glucógeno sintetizado a partir de la glucosa, después de la ingesta, se almacena en los tejidos hepático y muscular, principalmente, pero la cantidad almacenada es de pocos hectogramos; lo cual permite suministrar escasamente energía corporal durante aproximadamente 12 horas (en ayuno). Cuando la cantidad de carbohidratos excede la capacidad de almacenamiento del glucógeno, a partir de glucosa se forman ácidos grasos y triacilgliceroles, como se explicó anteriormente. Estos últimos se almacenan

en el tejido adiposo y, por ejemplo, en un hombre de 70 kg de peso, la cantidad de triglicéridos puede ser de 15 kg; cantidad suficiente para suplir las necesidades energéticas basales durante 12 semanas. Pero el consumo continuo y exagerado de carbohidratos y grasas aportarán al fenómeno de obesidad porque la acetil-CoA, generada por la oxidación de la glucosa, será el sustrato inicial para la biosíntesis de mayor cantidad de ácidos grasos y triacilgliceroles. Así, los ácidos grasos provenientes de las grasas de la dieta se reesterificarán y se almacenarán también en el tejido adiposo y aportarán al aumento en el número de adipocitos y del contenido de grasa (véase figura 26).

Figura 26. Modelo del metabolismo y regulación hormonal en estados de obesidad



Fuente: modelo original de los autores, diseñado por Melissa Zuluaga

El tejido adiposo, además de cumplir una función energética en estados de ayuno a través de la lipólisis y la beta-oxidación de ácidos grasos, permite la generación de acetil-CoA y oxalacetato para ser sustratos en la formación de glucosa (gluconeogénesis), procesos favorecidos por hormonas hiperglicemiantes como glucagón,

epinefrina (adrenalina) norepinefrina (noradrenalina), glucocorticoides y hormona del crecimiento.

El tejido adiposo, también, cumple una función hormonal. Produce múltiples sustancias denominadas adipocinas, las cuales tienen un papel endocrino e inflamatorio, como leptina, adiponectina, resistina, apelina, factor de necrosis tumoral-alfa (FNT-a), interleucina 6 (IL-6), entre muchas otras. A continuación, se realizará una breve descripción de las funciones que cumplen algunas de estas adipocinas y su relación con la obesidad como se puede ver en la figura 26.

Leptina

La leptina, del griego *leptos*, que significa delgado, es una proteína de 16 kilodaltons de peso molecular (kDa) que causa atenuación de la sensación de hambre. El gen se expresa principalmente en el tejido adiposo (Freedman, 1994), pero también en la placenta, el músculo esquelético, el estómago y el intestino (Gutiérrez-Ruiz, Velázquez-Paniagua y Prieto-Gómez, 2011). El tejido adiposo produce leptina (Lep) en una concentración equivalente a la cantidad de grasa corporal; esta hormona regula el metabolismo de glucosa, lípidos, hueso, la homeostasis de la energía, el sistema neuroendocrino y la función inmune. La leptina atraviesa la barrera hematoencefálica y en el cerebro realiza funciones muy importantes.

Cuando la leptina se une a receptores de leptina b (LepRb) acoplados a AMPc, en el hipotálamo se producen vías de señalización que estimulan cascadas de activación de quinasas, como fosfatidilinositol-kinasa-3 (PI₃K), MAPK, AMPK, las cuales, a su vez, activan la función neuroendocrina, regulando la homeostasis energética en el centro de la saciedad porque suprime el consumo de comida y activa el gasto de energía. Sin embargo, en algunas formas de obesidad que son resistentes a la leptina, esta resistencia puede incluir disrupción de la señalización en el hipotálamo, lo cual lleva a que el organismo aumente la ingesta de alimentos y disminuya el gasto de energía,

contribuyendo a la alteración del equilibrio homeostático. Esta alteración también se produce cuando un organismo produce leptina no funcional o presenta alteraciones en los receptores de leptina.

La unión de leptina a receptores de membrana en el núcleo arcuato hace que se activen neuronas anorexigénicas y se inhiban neuronas orexigénicas (véase figura 26). Las neuronas anorexigénicas sintetizan pro-opiomelanocortina (POMC) y las orexigénicas no sintetizan el péptido relacionado a agoutin (AgRP) ni el neuropéptido Y (NPY), fenómenos que promueven la disminución de la ingesta de alimento y el aumento del gasto energético. Pero, en obesidad –cuando se da resistencia a la leptina o se presentan bajos niveles de esta hormona– por deficiencia genética o alteraciones en sus receptores, sucede el fenómeno contrario, es decir, aumenta el consumo de alimento y disminuye el gasto de energía, contribuyendo también al desbalance energético (Park y Ahima, 2015).

La leptina, también puede modular la inmunidad natural y la inmunidad adaptativa. La producción de leptina aumenta en obesos (hiperleptinemia), este aumento induce señales inflamatorias que favorecen el aumento de linfocitos T ayudadores 1 (LTA1) en la circulación y favorece el ingreso de colesterol a los macrófagos, lo cual induce un estado inflamatorio (Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2011).

Cuando la leptina se une a receptores en membranas de hepatocitos y miocitos se inducen vías anabólicas como síntesis de proteínas, síntesis de colesterol, ácidos grasos y triglicéridos (Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2011).

Adiponectina

La adiponectina o proteína adipocítica (AdipQ) tiene un peso molecular de 30 kDa, los niveles séricos son tres veces más altos en mujeres que en hombres. Al aumentar la obesidad en humanos, bajan las concentraciones de AdipQ. Los bajos niveles de esta adiponectina están correlacionados con el aumento de resistencia

a la insulina, lo cual favorece la diabetes mellitus y la aterogénesis e induce al infarto, debido al aumento de los niveles de factor de necrosis tumoral-alfa que promueve el aumento de moléculas de adhesión, la formación de células espumosas (macrófagos que fagocitan lipoproteínas oxidadas) y la consecuente generación de ateromas. Cuando AdipQ se une a receptores 2 de adiponectina (AdipoR2) en los hepatocitos provoca disminución de la glucogénesis (degradación de glucógeno) y disminución de la oxidación de los ácidos grasos, lo cual favorece la acumulación de grasas (Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2011).

Factor de necrosis tumoral alfa-FNT-alfa

El FNT-alfa es un polipéptido de 17 kDa de peso molecular con función autocrina y paracrina. Fue la primera citosina secretada por el tejido adiposo en ser descubierta; algunas de sus funciones son: disminuir la captación de ácidos grasos no esterificados, lo cual causa aumento de ácidos grasos en la circulación; generar resistencia a la insulina; inhibir la lipólisis (degradación de lípidos) y, por lo tanto, provocar aumento de tejido adiposo. Además, la presencia del ARNm, que codifica esta proteína, está relacionada directamente con el porcentaje de grasa corporal, con el índice de masa corporal (IMC), con la resistencia a la insulina y con el aumento de triglicéridos (Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2011).

Acción de la insulina producida en el páncreas

Como se mencionó, la insulina es un polipéptido producido por las células beta de los islotes de Langerhans del páncreas y es secretada en respuesta a los nutrientes presentes en la circulación sanguínea, como glucosa y aminoácidos, y como respuesta a hormonas incretinas. La insulina es un regulador de la ingesta a largo plazo, del balance energético y de la adiposidad corporal. Ante una concentración igual de glucosa, los obesos, generalmente presentan

una secreción de insulina más elevada que las personas con peso normal, esto hace que los niveles plasmáticos de insulina sean proporcionales a la ingesta reciente y a la grasa corporal (Havel, Townsend, Chaump y Teff, 1999).

La insulina tiene un efecto inhibitorio de la ingesta y aumenta el gasto energético, por lo tanto, a largo plazo controla la ración de comida consumida y tiene efecto anabólico a nivel periférico porque aumenta la síntesis de lípidos y su almacenamiento. Una persona con secreción baja de insulina puede tender a la hiperfagia y al consumo de dietas ricas en grasas (Ravussin y Tataranni, 1997). Además, en personas con alteraciones genéticas o metabólicas para producir adiponectina, FNT-alfa, entre otras sustancias, se induce resistencia a la insulina con la consecuente generación de obesidad.

DIMENSIÓN GENÉTICA-CULTURAL Y EPIGENÉTICA

La obesidad es un trastorno debido a un desequilibrio entre el consumo y el gasto de energía en el cuerpo humano (Baynes y Dominiczack, 2006b, p. 209), de la cual hemos mostrado, previamente, la dimensión metabólica que la puede ocasionar. Una de las inquietudes más importantes que han tenido muchos investigadores es analizar por qué en muchas poblaciones que tienen la misma variación genética existen algunas comunidades que nunca sufren obesidad mientras que otras sí la padecen. Como respuesta a esta inquietud ha surgido otra perspectiva para explicar la obesidad humana, la cual tiene que ver con los genes humanos y con los factores ambientales y culturales que influyen en la expresión o comportamiento de los genes.

En esta dimensión, es interesante resaltar que investigadores como Johnson y Andrews (2016) han explorado estudios sobre evolución y mencionan como trabajo importante, el realizado por el genetista James Neel, quien planteó la siguiente hipótesis:

En el pasado remoto habría más fases en las que los alimentos escaseaban, lo que causaría hambrunas o incluso una carestía generalizada. Los portadores de una variante genética que hiciera más eficaz la asimilación o utilización de los alimentos habrían podido extraer más calorías y almacenarlas en forma de grasa. Los dotados con ese gen “ahorrador” contarían con una grasa extra que habría supuesto una ventaja para sobrevivir en tiempos de necesidad. Sin embargo, en tiempos de abundancia, como en la actualidad, el mismo rasgo daría lugar a una ganancia excesiva de peso y a la diabetes (Johnson y Andrews, 2016, p. 28).

Hoy se cree que el gen ahorrador es el gen que modifica la expresión del gen que codifica la enzima uricasa –que tienen muchas especies animales–, pero que en los grandes simios y en los humanos no se expresa (desde épocas de hambruna cuando hubo migración de África a Europa). Esta enzima tiene como función degradar el ácido úrico generado en el metabolismo de las proteínas. La carencia de la uricasa causa la acumulación del ácido úrico en la sangre, el cual se puede excretar a través de la orina, pero cuando se presenta sedentarismo y consumo no adecuado de alimentos, los niveles sanguíneos aumentan y pueden contribuir a incrementar el riesgo de hipertensión y cardiopatías, riesgo comprobado en animales y humanos (Johnson, Feig, Herrera Acosta y Kang, 2005; Kratzer, Lanaspá, Murphy, Cicerchi, Graves, Tipton y Gaucher, 2014).

Según la hipótesis del gen ahorrador, en un periodo prolongado de escasez, el más gordo sobrevive. Los animales comen abundantemente cuando se acercan épocas de ayuno y el metabolismo hace que presenten resistencia a la insulina. La resistencia a la insulina evita el almacenamiento de glucógeno y mantiene elevada la glicemia para poder suministrar glucosa al cerebro. Además, Johnson y Andrews (2010) encontraron que existe un “interruptor de la grasa”, que consiste en un mecanismo que alerta a los seres vivos para que engorden y se conviertan en prediabéticos, al aumentar la glicemia. Este interruptor es el azúcar fructosa (monosacárido que se encuentra en las frutas), el cual inhibe la señal de la leptina,

que, como se explicó antes, activa las hormonas anorexigénicas que dan la orden de dejar de comer. Si estas hormonas no se producen se da el fenómeno de hiperfagia y disminución del gasto energético, contribuyendo al fenómeno de obesidad. Entonces, una dieta abundante en fructosa –que también produce ácido úrico– y la ausencia de uricasa que aumenta niveles de ácido úrico, en conjunto, contribuyen al riesgo de sufrir síndrome metabólico caracterizado por cardiopatías, hipertensión, accidentes cerebrovasculares y diabetes, que en general acompañan a la obesidad.

Para resumir esta parte, los alimentos ricos en fructosa como las frutas y la miel que contiene sacarosa, aumentan los niveles de fructosa en la sangre y en el hígado. La fructosa, la carne y la cerveza producen ácido úrico. La mutación en el gen de la uricasa impide la degradación del ácido úrico y el ácido úrico aumenta los efectos de la fructosa. Como consecuencia, los niveles elevados de fructosa disparan el interruptor, inhibiendo la leptina, se acumula la grasa en el organismo y el azúcar aumenta la presión arterial (Jhonson y Andrews, 2006). Este panorama es delicado en la actualidad, en unas culturas caracterizadas por el sedentarismo, la abundancia de alimentos procesados y la sobrealimentación que generan niveles poco saludables de ácido úrico y producen en los individuos obesidad y enfermedades características del síndrome metabólico.

Desde otro punto de vista, la genómica nutricional explora el comportamiento de los genes con la finalidad de desarrollar tratamientos alimenticios personalizados. Se debe tener en cuenta que el genotipo influye en las concentraciones plasmáticas de los nutrientes, un ejemplo es la respuesta de la concentración plasmática de colesterol al contenido de éste en la alimentación. La respuesta del cuerpo a una alimentación que contiene colesterol está asociada al genotipo de la apoproteína E (ApoE). Esta proteína, sintetizada en el hígado, está codificada por varios alelos denominados e2, e3 y e4 y se ha demostrado que el colesterol en plasma aumenta en individuos con el fenotipo E4/4 (genotipo e4); pero no con el fenotipo E2/2.

Además de la respuesta a la genética de la ApoE, otro factor interesante, es que el consumo de algunos nutrientes afecta la expresión génica. Por ejemplo, el consumo de ácidos grasos poliinsaturados inhibe la expresión del gen del ácido graso sintasa (enzima que participa en la síntesis de ácidos grasos) y los ácidos grasos omega-3 reducen la expresión del factor derivado de las plaquetas (PDGF) y la citocina proinflamatoria interleucina 1 (IL-1). Si se tiene en cuenta este conocimiento y se sigue la recomendación de consumir aceites ricos en ácidos grasos poliinsaturados (oliva, girasol, canola) en la dieta alimenticia, en el organismo no se sintetizarían en abundancia ácidos grasos que sirven de sustrato para la síntesis de triacilglicérols y se evitaría su almacenamiento en el tejido adiposo. Este proceso no sucede cuando se consume exceso de grasas saturadas como mantecas de cerdo, mantequilla, margarina o grasa de res, que inducen al fenómeno de la obesidad.

La adaptación a la abundancia alimentaria disponible de forma constante, también se ha convertido en un problema que se puede ilustrar con los pobladores de Nauru (isla del Océano Pacífico), quienes cambiaron su dieta a base de pescado y hortalizas por carnes enlatadas, papas fritas y cerveza debido a que su actividad de venta de abonos los llevó a tener uno de los ingresos *per cápita* más altos del mundo (Gibbs, 1996). Además, se han realizado estudios con los indios Pima, una tribu cuyos progenitores se dividieron en dos grupos durante la Edad Media. Un grupo organizó sus actividades en Arizona meridional y el otro en las montañas mexicanas de la Sierra Madre. En los años setenta, los indios de Arizona tuvieron que abandonar la agricultura, adoptaron las dietas típicas de su entorno, en las cuales un 40 % de las calorías se encuentran en forma de grasa. Veinte años después, estos indios registraban la incidencia más alta de obesidad del mundo, la cual supera a la de los americanos de raza blanca, y alrededor de la mitad de ellos presentan diabetes cuando cumplen los 35 años de edad (Ravussin, 1994, citado en Gibbs, 1996). Ravussin, en su trabajo de investigación, mostró que la obesidad es menos prevalente entre los Pima

que conservan un estilo de vida tradicional, que entre aquellos que viven en un ambiente de abundancia. Los hallazgos sugieren que, a pesar de la disposición genética similar, un estilo de vida tradicional con una dieta que incluya menos grasa animal y carbohidratos más complejos (polisacáridos y no azúcares) y un mayor gasto de energía en trabajo físico puede proteger contra el desarrollo de factores de riesgo de obesidad y signos característicos del síndrome metabólico. Estos ejemplos ilustran cómo han influido los cambios ambientales extremos, las variaciones en las costumbres alimentarias y el sedentarismo en la expresión de los genes y, por ende, en la incidencia a sufrir fenómenos de obesidad (Ravussin, Valencia, Esparza, Bennetty Schulz, 1994). Además de la relación de los genes con el ambiente y la cultura, se han encontrado genes relacionados con la ingesta, el metabolismo y la actividad física. Algunos ejemplos se citan a continuación brevemente.

El gen *obese*, clonado por el grupo de Fredman en 1998 (Ioffe, Moon, Connolly y Friedman, 1998), codifica para la proteína Leptina, cuya función se explicó en la dimensión metabólica. Los ratones con este gen mutado no sintetizan Lep o producen una versión deforme y al crecer, como consecuencia de la baja concentración de este péptido en sangre, alcanzan a triplicar su peso normal. Asimismo, se ha encontrado en seres humanos que la baja concentración de Lep está asociada a problemas de obesidad y síndrome metabólico (Gibbs, 1996; Rosenbaum y Leibel, 2014).

El gen *diabetes*, clonado en 1997, codifica para un receptor que responde a la leptina disminuyendo el apetito y acelerando el metabolismo; cuando se tienen mutaciones en el gen *diabetes*, los individuos no reciben la señal de la leptina y por lo tanto son obesos desde la niñez (Gibbs, 1996).

Los genes *fat* y *tubby* se clonaron en el Laboratorio Jackson en Bar Harbor. Los ratones y los seres humanos que poseen una mutación en alguno de los dos genes ganan peso gradualmente. El gen *fat* codifica una enzima que procesa la insulina, la hormona que da la señal de que el organismo se ha alimentado; por lo que, si falla

este proceso, se altera la sensación de saciedad y se consumen más alimentos.

En resumen, muchos estudios han buscado la relación entre la obesidad y las alteraciones genéticas (Palou, Bonet, Picó y Rodríguez, 2004). Además de los genes mencionados anteriormente, los investigadores han encontrado polimorfismos genéticos que alteran el equilibrio del transporte de glucosa entre el tejido muscular y el tejido adiposo, alteraciones en la función de la lipoproteína lipasa, de la proteína quinasa dependiente de AMP (AMPK) que controla la regulación del metabolismo intracelular de los ácidos grasos (Ruderman *et al.*, 2003) al mediar los efectos catabólicos de la leptina y la adiponectina (Minokoshi *et al.*, 2002; Yamauchi *et al.*, 2002) y variaciones genéticas que afectan a las hormonas estimulantes de la adipogénesis, como la insulina, la hormona de crecimiento, los glucocorticoides o las hormonas tiroideas, así como polimorfismos que inhiben la adipogénesis como el factor de necrosis tumoral (TNF α) o la resistina (Warne, 2003; Kim, Lee, Moon y Sul, 2001).

Para terminar esta dimensión, es importante mencionar que en estudios recientes se ha encontrado que el hueso ha emergido como un órgano endocrino pleiotrópico que secreta la hormona osteocalcina, que regula la homeostasis de la glucosa porque induce la secreción de insulina y mejora la tolerancia a la glucosa y la sensibilidad a la insulina. Además, la LCN₂ derivada de osteoblastos inhibe la ingesta de alimentos. LCN₂ cruza la barrera hematoencefálica, se une al receptor de melanocortina 4 (MC4R) en las neuronas paraventriculares y ventromediales del hipotálamo y activa una vía anorexígena dependiente de MC4R (supresión del apetito). Estos resultados identifican a la LCN₂ como una hormona derivada de hueso con efectos reguladores metabólicos, que suprime el apetito de una manera dependiente de el MC4R, y muestra que el control del apetito es una función endocrina del hueso (Mera, Ferron y Mosialou 2018).

En conclusión, debemos comprender que los genes no sólo controlan el metabolismo de los lípidos, la sensación de saciedad o

apetito, sino que responden a los cambios de ambiente extremos, a los cambios de costumbres alimentarias prolongadas en el tiempo y a los cambios culturales, en general.

DIMENSIÓN CONDUCTUAL

Una momentánea situación orgánica puede, en efecto, condicionar nuestra conducta alimentaria. El cerebro, sede de nuestras decisiones conscientes, desempeña en principio una función principal en la elección de los alimentos, pero, situados en el supermercado o ante la nevera, la pulsión de la comida domina, con fatales consecuencias para un número creciente de personas (Grimm, 2007, p. 71).

La dimensión conductual explora los patrones de comportamiento que generan excesivas ingestas de alimento. En estudios epidemiológicos, se ha encontrado que las personas obesas presentan trastornos de ansiedad, depresión, esquizofrenia y alteraciones de la personalidad (Camarena, 2004). Algunos investigadores describen que pacientes con desórdenes psiquiátricos experimentan exceso de consumo de alimentos como respuesta a estados emocionales negativos o debido a alteraciones congénitas de personalidad, como compulsividad, impulsividad y trastornos neuróticos (Dobrow, Kamenetz y Devlin, 2002).

También, hay asociación entre alteraciones de la conducta y modificaciones en genes relacionados con el metabolismo. En genes de receptores y de enzimas relacionadas con el metabolismo de los neurotransmisores dopamina y serotonina parece que hay asociación con alteraciones mentales. En el cerebro, en el núcleo *accumbens* se encuentra el sistema de recompensa que opera sobre el hipotálamo que, a su vez, es el encargado de regular la conducta alimentaria.

La relación entre la conducta alimentaria y las estructuras cerebrales antes mencionadas ha sido estudiada en ratones

transgénicos, a quienes se les ha modificado la capacidad de sintetizar dopamina, encontrándose que estos animales pierden la motivación y el interés por comer y llegan a morir de hambre. Pero, si se les suministra dopamina, vuelven a comer normalmente. Con estos experimentos se ha comprobado que la dopamina participa en la regulación del peso corporal (Grimm, 2007). Esta conclusión ha sido comprobada, también, en seres humanos. En un estudio realizado con tomografías de emisión de positrones para medir la unión del medicamento *racloprid* a los receptores D2 de dopamina en el núcleo *accumbens*, se encontró que entre mayor era el índice de masa corporal (IMC) de las personas, es decir, entre más peso tenían, menos cantidad del medicamento se unía a los receptores D2. De este trabajo, la autora supone que las personas con obesidad presentan niveles bajos de dopamina y, como consecuencia, buscan satisfacción con el aumento en el consumo de comida. Si la satisfacción produce aumento en la concentración de dopamina en el cerebro, este aumento compensa la deficiencia de los receptores de esta sustancia (Volkow *et al.*, 2008).

La corteza orbitofrontal (COF) es otra estructura cerebral que influye en la conducta impulsiva de los seres humanos, si esta región se encuentra lesionada, las personas tienen problemas para reprimir sus impulsos y, por ejemplo, no pueden dejar de comer abundantemente.

La amígdala, estructura del sistema límbico, regula la conducta alimentaria y se ha demostrado en monos que, después de destruirles los núcleos amigdalinos, devoran alimentos y objetos no comestibles (Klüver y Bucy, 1930). Y en seres humanos, por resonancia magnética nuclear, se ha encontrado que cuando se presentan imágenes de productos alimenticios u otros objetos neutros como herramientas o automóviles, después de un ayuno de ocho horas, las personas interrumpen la prueba de resonancia para calmar su hambre y luego reanudan el examen. Este estudio permitió comparar la actividad cerebral de las personas hambrientas y luego saciadas, y se pudo observar que en los hambrientos se les estimulaba la amígdala

cuando observaban alimentos, mientras que en los saciados no se veía ninguna reacción (LaBar, 2001, citado en Grimm, 2007).

Además de los ejemplos expuestos en los párrafos anteriores, se sabe que en personas obesas se ha encontrado asociación entre una baja actividad de la enzima monoamino-oxidasa y un IMC mayor o igual a 35 kg/m². Las enzimas monoamino-oxidasa A y B participan en el catabolismo de dopamina y serotonina y sus genes se encuentran ubicados en el cromosoma X, por lo tanto, estos genes tienen mayor incidencia de obesidad en mujeres que en hombres.

En la dimensión conductual, además de los cambios comportamentales influidos por modificaciones genéticas, como mostramos en los párrafos anteriores, existe otro punto de vista que es el de los sistemas de comportamiento heredados socialmente. Es decir, la transmisión y adquisición de procesos o costumbres que resultan en la reconstrucción de las conductas, comportamientos o preferencias en los descendientes de una especie que se transmiten de generación en generación (Jablonka y Lamb, 2005).

Las preferencias alimenticias a las cuales se somete los niños en diferentes culturas culinarias o grupos étnicos, ayudan a formar las preferencias alimenticias en la edad adulta y se transmiten a las siguientes generaciones. Se ha encontrado, por ejemplo, que bebés cuyas madres consumieron abundante jugo de zanahoria durante los últimos tres meses de gestación o durante el periodo de lactancia, prefieren consumir el cereal preparado en este jugo que en agua. Este comportamiento se explica porque a través del líquido amniótico o por medio de la leche, se proporcionan no sólo nutrientes sino trazas de sustancias que la madre ha consumido. Pero no debemos desconocer que los comportamientos alimentarios también cambian durante el tiempo de vida de un individuo por otros procesos de aprendizaje social durante las experiencias propias y colectivas (Jablonka y Lamb, 2005).

Si tenemos en cuenta este punto de vista de los comportamientos socialmente heredados, podemos decir que, en la actualidad, en las diferentes culturas, los hábitos alimentarios, además de estar

cambiando, se están heredando socialmente; con la consecuente problemática epidemiológica y de salud pública que está marcando a las sociedades modernas.

DIMENSIÓN SIMBÓLICA

Si bien, como hemos expresado en las secciones anteriores del presente capítulo, la obesidad puede explicarse por la interacción de factores genéticos y ambientales, también es claro que hay aspectos del comportamiento humano y construcciones culturales sin las cuales cualquier discusión acerca de este fenómeno sería incompleta. En las páginas que se presentan a continuación, y que nos sirven para el cierre de este capítulo, nos referiremos a aquellos aspectos de naturaleza simbólica vinculados con la obesidad, elementos que deben ser considerados como introductorios para reflexiones posteriores y que invitan a nuestros lectores a construir un modelo de obesidad que, además de los aspectos genéticos y epigenéticos, considere otros de naturaleza sociocultural.

A diferencia de otros animales, los humanos tenemos la capacidad de comunicarnos con lenguajes simbólicos. Expresarnos con la música, formalizar principios matemáticos, describir una reacción química, expresar nuestros sentimientos a través de la poesía, escribir la historia de nuestras culturas son desarrollos que sólo la especie humana puede realizar. La capacidad de organizar, transferir y adquirir información, nos hace humanos y diferentes, y es la habilidad para pensar y comunicarnos con el uso de múltiples lenguajes la que nos permite, entre otros aspectos, construir cultura. En términos de Jablonka y Lamb (2005), la racionalidad, las habilidades lingüística y artística y la religiosidad son facetas del pensamiento simbólico y de la comunicación; entienden un sistema simbólico como un sistema sujeto a reglas en donde los símbolos se refieren a objetos, procesos y sus relaciones en el mundo, pero que también evocan y hacen referencia a otros símbolos dentro del mismo

sistema. Gracias al sistema simbólico de comunicación podemos referirnos al pasado y al futuro, así como a fenómenos aprehendidos por la vía de los sentidos o mediante el ejercicio en el plano de las ideas. Debido a estas características, los símbolos tienen enorme potencial para transmitir información.

Tanto en la transmisión de la información simbólica como de la genética se transmite información latente; la transmisión simbólica se caracteriza, entre otros aspectos, porque va más lejos que la genética debido a que los símbolos son convenciones compartidas socialmente y pueden ser cambiadas y transmitidas dentro de otras convenciones a través de sistemas comportamentales. Las diferencias en hábitos culturales y creencias entre diferentes sociedades, muestran que los sistemas simbólicos son formas muy eficientes de transmitir información (Jablonka y Lamb, 2005). Hallar diversas representaciones de la obesidad en distintas culturas y temporalidades nos da indicios del gran poder que tiene la dimensión simbólica para individuos y sociedades. Asimismo, nos puede dar luces acerca de cómo la información representada simbólicamente pasa de una generación a otra y de cómo los símbolos constituyen cultura.

Son diversas las ideas que acerca de la obesidad se han construido a lo largo de la historia. Éstas van desde los postulados aristotélicos, como la primera visión lógica y racional para la obesidad, hasta los de Hipócrates y Galeno. De acuerdo con Puerto:

En el sistema fisiológico galenista no hay circulación sanguínea. La sangre se elabora en el corazón tras la digestión y va a alimentar la carne. La obesidad, por tanto, es un problema de difícil interpretación. Consideran o bien que se ha producido una degeneración de la digestión al convertir los alimentos en sangre y, en su lugar, se ha producido flema, o bien que, en ese proceso degenerativo de la digestión alimenticia, en lugar de sangre se ha producido agua. El exceso de peso es considerado debido a la acumulación, o bien de agua, o bien de flema. Por eso, muchos médicos primitivos no diferencian entre la gordura y la hidropesía (Puerto, 2015).

Desde una perspectiva anatómo-fisiológica, de la obesidad se derivan procesos orientados a la expulsión de humores, flema y agua. En los siglos X y XI se asociaba la obesidad con dificultades de movilidad y respiración, muerte súbita, infertilidad y pérdida de la libido (Puerto, p. 356). Los tratamientos se acompañaban de dietas e incluían sangrías. Ya en el siglo XVII se recomendaba la ingesta de vinagres, limón y algunos ácidos para el tratamiento de la obesidad. A partir de esta fecha surge un sinnúmero de estrategias como baños de aguas termales, aplicación de electricidad, purgantes, masajes, entre muchos otros.

Los párrafos anteriores tienen como su único propósito situar el fenómeno de la obesidad en una perspectiva histórico-cultural. Si bien podemos explicar este fenómeno haciendo referencia a secuencias de bases purinas y pirimidinas de los ácidos nucleicos, también los podemos realizar incorporando, en las explicaciones y comprensiones, asuntos ambientales, personales y culturales. De tal manera que reconocer la obesidad como un fenómeno complejo y multidimensional nos brinda nuevos aspectos a tener en cuenta no sólo para entender en profundidad mencionado fenómeno, sino, además, para construir conjuntamente líneas de pensamiento y de acción para transformar las prácticas nutricionales, de estilos de vida y culturales que más directamente inciden sobre la obesidad de las personas y de las comunidades.

Aunque los procesos bioquímicos que explican la obesidad de las personas son claros en la actualidad, no sucede igual con la comprensión de las otras tres dimensiones de la evolución descritas por Jablonka y Lamb (2005). Dados los alcances de este capítulo, concluimos con algunas preguntas que invitan a la reflexión en estas otras dimensiones: ¿cuáles han sido las relaciones entre la obesidad, la estética, la belleza y el arte, a lo largo de la historia y cómo han incidido sobre el comportamiento de sujetos y comunidades? ¿Cómo se constituyó históricamente la imagen de salud y de poder en personas con ciertos grados de obesidad y qué vínculos se establecen en la actualidad sobre estas categorías? ¿Cómo ha evolucionado a

través de la historia de la humanidad el fenómeno de la obesidad? ¿Cuál ha sido el papel de la iglesia en torno a la obesidad? ¿Qué saberes de sentido común y mitológicos influyen hoy en el comportamiento y toma de decisiones de las personas relacionadas con la obesidad? ¿Qué hace que las personas y las comunidades adquieran prácticas efectivas para el control del peso? ¿Cuáles son los lineamientos nacionales e internacionales en cuanto a políticas públicas en salud relacionadas con el control de la obesidad en las comunidades?

CONCLUSIÓN

El fenómeno de la obesidad es multidimensional. Podemos adelantar explicaciones centradas en una narrativa científica en la cual identificamos las complejas rutas metabólicas, las diversas organelas celulares, células, tejidos y sistemas que participan de manera activa en los procesos anabólicos y catabólicos responsables de la transformación de unas sustancias en otras con la consecuente acumulación de calorías propia de la obesidad. De igual manera, podemos enriquecer esta narrativa científica si consideramos su interacción dinámica con aspectos ambientales; de tal forma que no son exclusivamente los genes, y la información que ellos albergan, los responsables de fenómenos como el de la obesidad; en otras palabras, los genes son “sensibles” a la presión del ambiente que sobre ellos se ejerce. El conocimiento detallado de las interacciones entre las dimensiones genética y epigenética de la obesidad nos facilita una comprensión más integral de un fenómeno que décadas atrás fue visto desde la dimensión científica del ámbito de las ciencias biológicas.

Dos lecturas adicionales, sin duda, enriquecen aún más nuestras comprensiones acerca de la obesidad. Una de ellas referida a asuntos relacionados con los sujetos y su toma de decisiones, decisiones que están mediadas por procesos de mercadeo, medios de

comunicación y, en general, por la sociedad del consumo. La otra referida de manera específica a la herencia simbólica, mediante la cual nos asumimos como sujetos culturales.

Aun cuando el énfasis de este capítulo reside en presentar con algún detalle las bases biológicas de la obesidad, también nos interesa lograr una comprensión multidimensional de ésta; y como fenómeno tanto biológico como cultural, lograr sinergias con los otros capítulos que componen el libro en su conjunto. En tal sentido, reconocer que México ocupa el primer puesto en obesidad infantil y el segundo en obesidad del adulto, a nivel mundial, nos invita a hacer de éste un problema que deba ser asumido desde instancias de diversa naturaleza: política, económica, social, clínica y educativa, entre otras.

De especial interés en nuestro caso es promover –en la medida de lo posible– la comprensión y la prevención de este fenómeno desde la escuela. Se requieren acciones formativas orientadas al logro de procesos de autorregulación de los ciudadanos orientados a mantener el peso adecuado mediante el ejercicio físico y la adopción de una dieta saludable.

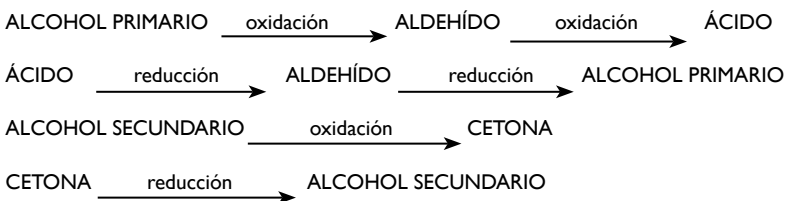
ANEXO 1

TIPOS DE REACCIONES BIOQUÍMICAS Y SUS CATALIZADORES BIOLÓGICOS

En general, las enzimas son moléculas proteicas que cumplen la función de ser catalizadores biológicos. A continuación, se describen las seis clases de enzimas y se proponen algunos ejemplos de las reacciones catalizadas por cada clase.

Clase 1. Oxidoreductasas: catalizan reacciones de oxidación-reducción, en este tipo de reacción una sustancia (sustrato) se oxida y otra sustancia (cosustrato o coenzima) se reduce o al contrario el sustrato se puede reducir y el cosustrato se oxida. La oxidación es un proceso químico que adiciona o fija oxígeno; la pérdida de hidrógeno en una sustancia también es una oxidación y la pérdida de electrones en una especie química es oxidación. La reducción por el contrario es el proceso químico que adiciona hidrógeno, gana electrones o pierde oxígeno.

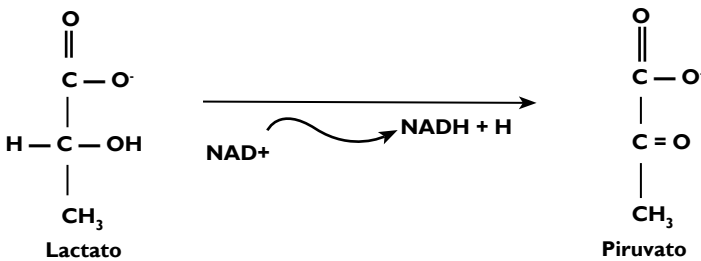
Algunas biomoléculas como los monosacáridos son susceptibles de oxidar por ser compuestos poli-hidroxilados y pueden sufrir reducciones de su función aldehído o cetona. Es importante recordar que cuando un alcohol primario se oxida, puede originar aldehídos o ácidos carboxílicos y, cuando se oxida un alcohol secundario, se forma una cetona porque en el proceso pierde hidrógeno y/o gana oxígeno. Una cetona al reducirse produce un alcohol secundario; un aldehído se reduce y origina alcohol primario y un ácido por reducción forma aldehído; las reducciones se llevan a cabo por la ganancia de hidrógeno y/o pérdida de oxígeno. Por ejemplo:



Los monosacáridos sufren reacciones de oxidación-reducción en las células y dichos procesos suceden gracias a la acción catalizadora de las enzimas óxidoreductasas. En forma general, cuando un azúcar pierde hidrógenos, la enzima que actúa es una deshidrogenasa (una subclase de enzimas óxidoreductasas).

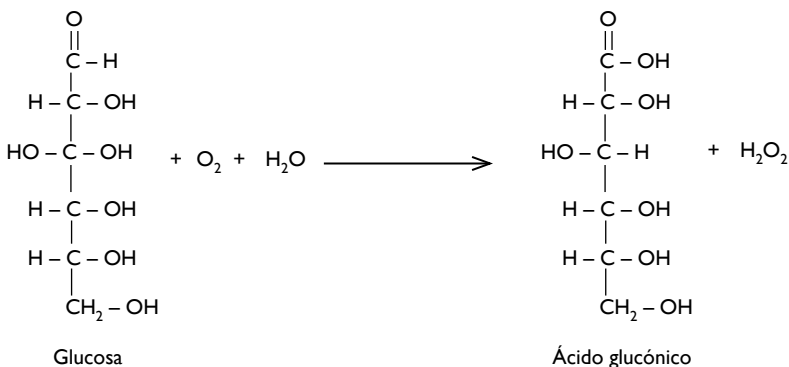
Las enzimas se nombran tomando como primera palabra el nombre del sustrato sobre el cual actúan y como segunda palabra la clase de enzima que cataliza la reacción colocando el sufijo “asa”. Por ejemplo, si la glucosa pierde hidrógenos para oxidarse, la enzima se llama glucosa deshidrogenasa.

Las deshidrogenasas catalizan las reacciones ayudadas por las coenzimas NAD (niacinamida adenina dinucleótido) y FAD (flavina adenina dinucleótido) que cumplen la función de segundos sustratos. Es decir, si el sustrato pierde hidrógenos, la enzima los gana (principio de conservación de la materia) y si el sustrato gana hidrógeno, entonces la coenzima es la que pierde los hidrógenos. Por ejemplo:



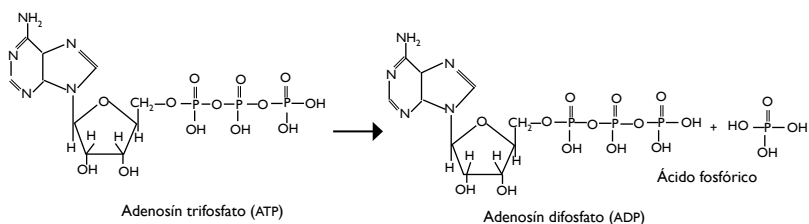
En esta reacción el lactato perdió 2 átomos de hidrógeno y por lo tanto se deshidrogenó, mientras que la coenzima NAD se redujo.

En la siguiente reacción la glucosa sufre un proceso de oxidación por acción de la glucoxidasa para producir ácido glucónico como producto principal y peróxido de hidrógeno como producto secundario:



Clase 2. Transferasas: esta clase de enzimas transfieren grupos químicos de un compuesto a otro compuesto y los grupos transferidos pueden ser grupos fosforilo, grupos carboxilo, grupos cetona, grupos aldehído, grupos amino, entre otros.

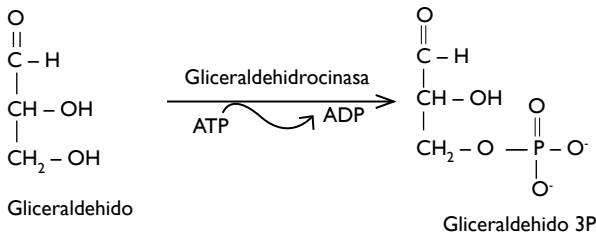
Por ejemplo, la fosforilación de los monosacáridos es una reacción de transferencia de un grupo fosforilo de una molécula del ATP al azúcar; cuando el ATP libera un grupo fosforilo queda convertido en ADP (adenosín difosfato) y el azúcar queda fosforilado al recibir el grupo fosforilo. El adenosín trifosfato (ATP) es una molécula importantísima en nuestro organismo porque transporta y transmite la energía que necesitan las células de los seres vivos. Observemos la hidrólisis de una molécula de ATP:



Los grupos fosforilo, en la estructura del ATP, están unidos por enlaces anhídrido y almacenan 7.3 kcal. Si se quiere romper por ejemplo el último enlace anhídrido, es necesario hacerlo a través de una

hidrolasa y la hidrólisis del enlace anhídrido libera 7.3 kilocalorías (-7.3 kcal).²

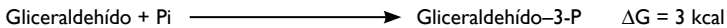
Si la energía es almacenada en una reacción celular, el proceso se denomina endergónico, pero si la energía se libera el proceso es exergónico. En la reacción la enzima gliceraldehido-cinasa (fosfo-transferasa) transfiere un grupo fosforilo desde una molécula de ATP al gliceraldehido para convertirlo en gliceraldehido-3-P. El enlace que se forma entre el grupo fosforilo y el alcohol del carbono 3 es un enlace fosfo-éster que almacena 3.3 kcal:



La fosforilación del gliceraldehído no sucede en una sola etapa sino en dos: primero debe hidrolizarse la molécula de ATP para dejar libre el grupo fosforilo:

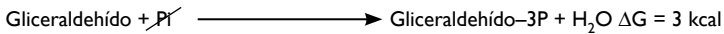
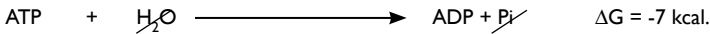


Segundo, el gliceraldehído se une al fosfato inorgánico proveniente del ATP, para formar el gliceraldehído-3-P:



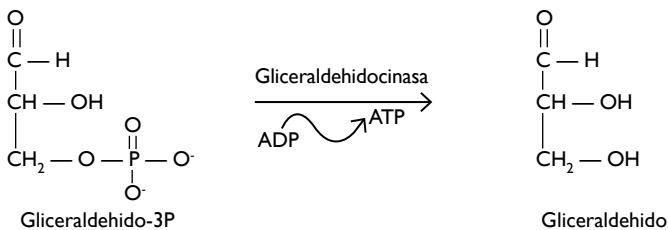
Al formarse el gliceraldehído 3-P se almacenan 3 kcal porque se origina un enlace fosfo-éster. Si sumamos las dos semirreacciones tenemos:

² En química la energía almacenada en un enlace tiene signo (+) y la energía liberada tiene signo (-). ΔG = es el cambio de energía en una reacción.

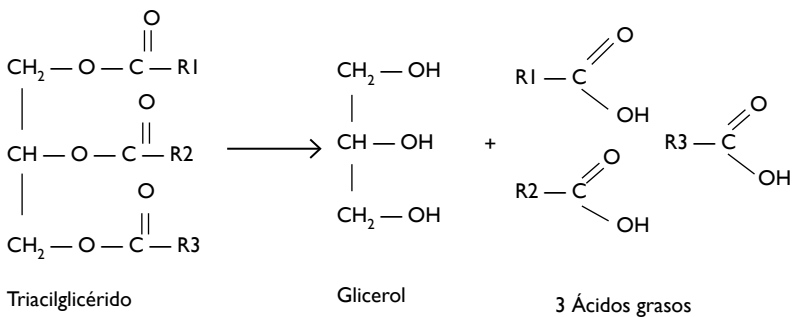


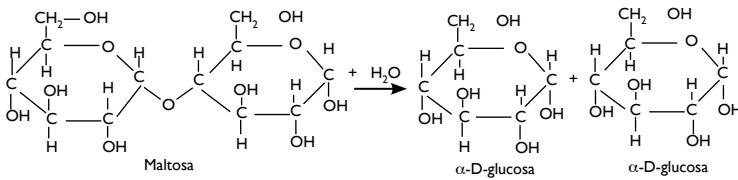
El cambio de energía para la reacción global equivale a -4 kcal., esto quiere decir que al romperse el enlace anhídrido del ATP se liberan -7 kcal. (Reacción exergónica) y la formación del enlace fosfoéster del gliceraldehído-3 P sólo requiere 3 kcal (reacción endergónica); razón por la cual hay energía suficiente para que se lleve al cabo la fosforilación del azúcar.

A continuación, se presenta la formación de ATP a partir del gliceraldehído-3P. El lector puede analizar si esta reacción es posible termodinámicamente.

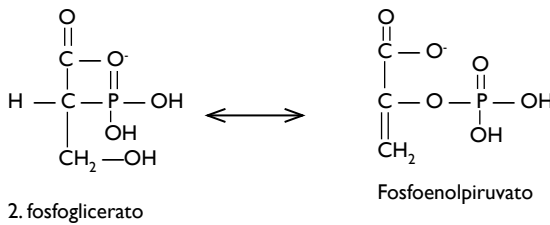


Clase 3. Hidrolasas: las hidrolasas rompen enlaces en presencia de agua. A continuación, se presenta la hidrólisis de un disacárido y la hidrólisis de un triglicérido.

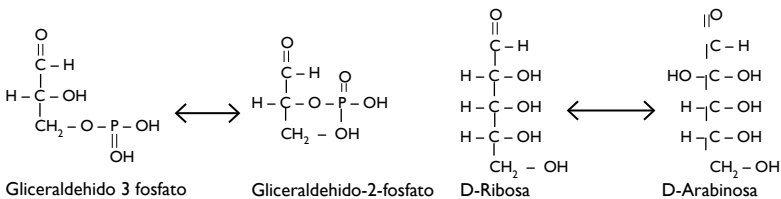




Clase 4. Liasas: son enzimas que catalizan el rompimiento de enlaces en ausencia de agua. En la siguiente reacción una molécula de agua es eliminada del 2-fosfoglicerato:

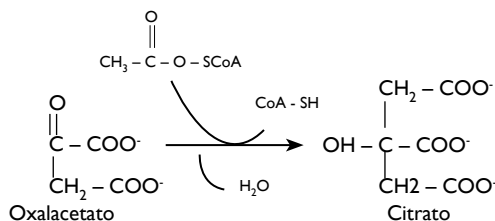


Clase 5. Isomerasas: estas enzimas interconvierten isómeros entre sí, por ejemplo, pueden catalizar la conversión de isómeros de grupo funcional, reacciones de epimerización y cambio de posición de grupos químicos en un mismo compuesto. En el primer ejemplo mostrado a continuación, el grupo fosforilo cambia de posición del carbono 3 al carbono 2, por acción de una enzima denominada fosfoglicerato mutasa. En el segundo ejemplo, el grupo OH del carbono 2 cambia de posición por acción de una enzima denominada pentosa epimerasa.



Clase 6. Ligasas: son enzimas que catalizan la unión de compuestos simples para formar moléculas más complejas. En el ejemplo

propuesto a continuación, se observa la condensación de una molécula de oxalacetato (de cuatro átomos de carbono) con una molécula de acetil-CoA (de dos átomos de carbono) para formar citrato (de seis átomos de carbono), unión catalizada por citrato sintasa, una enzima que no requiere energía proveniente del ATP sino del enlace tio-éster macroérgico de la molécula de acetil-CoA.



REFERENCIAS

- Baynes, J. y Dominiczak, M. (2006a). Función del tracto gastrointestinal. En *Bioquímica médica* (p. 125). Madrid, España: Elsevier.
- Baynes, J. y Dominiczak, M. (2006b). Biosíntesis y almacenamiento de ácidos grasos en el hígado y tejido adiposo. En *Bioquímica Médica* (pp. 204-209). Madrid, España: Elsevier.
- Dobrow, I., Kamenetz, C. y Devlin, M. (2002). Psychiatric aspects of obesity. *Rev Bras Psiquiatr*, 24 (suplemento III), 63-67.
- Camarena, B. (2004). Obesidad. Base genética. *Investigación y Ciencia*, (339), 34.
- Freedman, D. H. (1994). Combatir la obesidad. *Investigación y Ciencia*, (415), 25-31.
- Gibbs, W. W. (1996). La obesidad. *Investigación y Ciencia*, (241), 70-77.
- Gutiérrez-Ruiz, J., Velázquez-Paniagua, M. y Prieto-Gómez, B. (2011). El tejido adiposo como órgano maestro en el metabolismo. *Revista de endocrinología y nutrición*, 19(4), 154-162.
- Grimm, O. (2007). Obesidad: el sobrepeso y la obesidad se han convertido en enfermedades sociales. Pese a una difusión creciente de los conocimientos sobre la alimentación, asistimos a una tendencia a consumir más de lo necesario. ¿Por qué? *Mente y cerebro*, (24), 70-73.
- Havel, P. J., Townsend, R., Chaump, L. y Teff, K. (1999). High-fat meals reduce 24-h circulating leptin concentrations in women. *Diabetes*, 48(2), 334-341.
- Herrera, E. (1991). *Bioquímica*. México: Nueva Editorial Interamericana.

- Ioffe, E., Moon, B., Connolly, E. y Friedman, J. (1998). Abnormal regulation of the leptin gene in the pathogenesis of obesity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(20), 11852-11857.
- Jablonska, E. y Lamb, M. J. (2005). Evolution in four dimensions: Genetic. *Epigenetic, Behav.*
- Johnson, R. y Andrews, P. (2010). Fructose, uricase, and the back-to-Africa hypothesis. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 19(6), 250-257.
- Johnson, R. y Andrews, P. (2016). El gen de la obesidad. Una mutación genética en nuestros antepasados primates puede ser la causa de la actual pandemia de obesidad y diabetes. *Investigación y Ciencia*, (473), 28-33.
- Johnson, R., Feig, D., Herrera-Acosta, J. y Kang, D. (2005). Resurrection of uric acid as causal risk factor in essential hypertension. *Hypertension*, 45,18-20.
- Kim, K. H., Lee, K., Moon, Y. S. y Sul, H. S. (2001). A cysteine-rich adipose tissue-specific secretory factor inhibits adipocyte differentiation. *Journal of Biological Chemistry*, 276(14), 11252-11256.
- Kratzer, J., Lanaspá, M., Murphy, M., Cicerchi, C., Graves, C., Tipton, P. y Gaucher, E. (2014). Evolutionary history and metabolic insights of ancient mammalian uricases. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(10), 3763-3768.
- Lehninger, A. L. (2003). *Bioquímica*. Barcelona, España: Ediciones Omega.
- López, M. y Vidal-Puig, A. (2007). Claves para entender la pandemia de obesidad. *Mente y Cerebro*, (24), 74-83.
- Mera, P., Ferron, M. y Mosialou, I. (2018). Regulation of energy metabolism by bone-derived hormones. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 8(6).
- Minokoshi, Y., Kim, Y. B., Peroni, O. D., Fryer, L. G., Müller, C., Carling, D. y Kahn, B. B. (2002). Leptin stimulates fatty-acid oxidation by activating AMP-activated protein kinase. *Nature*, 415(6869), 339.
- Murray, R., Granner, D. y Rodwell, V. (2007). *Harper. Bioquímica ilustrada*. México: El Manual Moderno.
- Nassar, M. (1986). *Química médica*. Barranquilla, Colombia: Tipografía y Litografía Dover.
- Orrego, M., Tamayo, Ó. E. y Ruiz, F. (2016). *Unidades didácticas para la enseñanza de las ciencias*. Manizales, Colombia: Editorial Universidad Autónoma de Manizales.
- Tamayo, Óscar E., Orrego, Mary y Dávila, Alba R. (2014). Modelos explicativos de estudiantes acerca del concepto de respiración. *Bio-grafía Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 7(13), 129-145.
- Palou, A., Bonet, M. L., Picó, C. y Rodríguez, A. M. (2004). Nutrigenómica y obesidad. *Rev Med Univ Navarra*, 48(2), 36-48.
- Park, H. K. y Ahima, R. S. (2015). Physiology of leptin: energy homeostasis, neuroendocrine function and metabolism. *Metabolism*, 64(1), 24-34.

- Puerto-Sarmiento, F. (2015). La evolución histórica de las bases científicas de la obesidad. Segundo curso avanzado sobre obesidad. Recuperado de <http://anales.ranf.com/obesidad2015/files/assets/basic-html/page120.html>
- Ravussin, E., & Tataranni, P. A. (1997). Dietary fat and human obesity. *Journal of the American Dietetic Association*, 97(7), S42-S46.
- Ravussin, E., Valencia, M., Esparza, J., Bennett, P. y Schulz, L. (1994). Effects of a traditional lifestyle on obesity in Pima Indians. *Diabetes Care*, 17(9), 1067-1074.
- Rosenbaum, M. y Leibel, R. L. (2014). 20 years of leptin: role of leptin in energy homeostasis in humans. *Journal of Endocrinology*, 223(1), T83-T96.
- Ruderman, N. B., Park, H., Kaushik, V. K., Dean, D., Constant, S., Prentki, M. y Saha, A. K. (2003). AMPK as a metabolic switch in rat muscle, liver and adipose tissue after exercise. *Acta physiologica Scandinavica*, 178(4), 435-442.
- Vidal-Puig, A. (2002). Bioquímica de la obesidad. Proteínas mitocondriales. *Investigación y Ciencia*, (310), 36-37.
- Volkow, N. D., Wang, G. J., Telang, F., Fowler, J. S., Thanos, P. K., Logan, J. y Pradhan, K. (2008). Low dopamine striatal D2 receptors are associated with prefrontal metabolism in obese subjects: possible contributing factors. *Neuroimage*, 42(4), 1537-1543.
- Warne, J. (2003). New perspectives on endocrine signalling: tumor necrosis factor α : a key regulator of adipose tissue mass. *J Endocrinol* 2003, 177, 351-5.
- Yamauchi, T., Kamon, J., Minokoshi, Y. A., Ito, Y., Waki, H., Uchida, S. y Eto, K. (2002). Adiponectin stimulates glucose utilization and fatty-acid oxidation by activating AMP-activated protein kinase. *Nature medicine*, 8(11), 1288.

CAPÍTULO 6

DISEÑO DE UNA SECUENCIA DIDÁCTICA PARA EL CASO DE LA OBESIDAD HUMANA

*Luissa Marlen Galvis Solano**

*Fanny Angulo Delgado***

INTRODUCCIÓN

En este capítulo nos ocuparemos de la configuración de un Modelo Científico Escolar de Arribo, MCEA, entendido como un dispositivo teórico-metodológico que sirve de referencia para plantear la enseñanza de contenidos escolares. Para el caso que nos ocupa, mostraremos cómo el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) de López y Mota y Moreno-Arcuri (2014) (véase capítulo 1) ofrece criterios para diseñar una secuencia didáctica (en adelante SD) sobre el fenómeno de la *obesidad humana* para el ciclo secundario.

* Programa de Maestría en Desarrollo Educativo con padrón de calidad de Conacyt, Universidad Pedagógica Nacional-Ajusco, México, <luissagalvis@gmail.com>. El texto aquí mostrado proviene en gran medida de la tesis de maestría: Galvis Solano, L. M. (2019). Modelos científicos escolares logrados por estudiantes de secundaria sobre obesidad humana en un contexto didáctico. Universidad Pedagógica Nacional, Ciudad de México, México. Tesis dirigida por el Dr. Ángel Daniel López y Mota

** Profesora Titular Facultad de Educación, Universidad de Antioquia, <fanny.angulo@udea.edu.co>

Capítulos anteriores aportan los fundamentos filosóficos, epistemológicos, disciplinares y cognitivos ligados a la modelización de fenómenos de valor educativo en clase de ciencias, en particular el de la obesidad humana. Sin embargo, en éste, describiremos desde un nivel microgenético lo que representa ‘recortar’ el fenómeno en términos de modelos de ciencia escolar susceptibles de ser elaborados por estudiantes de secundaria.

Dicha representación (la acción de ‘recortar’ el fenómeno) pasa por plantearse preguntas en torno a las finalidades de la educación en ciencias naturales para ese nivel: ¿hasta dónde puede llevarse a cabo la modelización de este fenómeno en la educación secundaria? ¿Qué tipo de modelos son interesantes [significativos para los estudiantes] en ese nivel y para ese fenómeno? ¿A qué deben responder los modelos construidos por los alumnos?

Para responder a esas preguntas, es necesario introducir aquí el concepto de transposición didáctica (Chevallard, 1985). Con él, nos planteamos nuevas preguntas, por ejemplo: ¿qué significa la transposición didáctica para el caso de la modelización de la obesidad humana que tendría lugar en el aula de ciencias de secundaria? ¿Por qué es interesante [e importante] heurísticamente? ¿Qué transposición didáctica requiere hacer un profesor para atender las necesidades de construcción de conocimiento de los estudiantes si la meta es la modelización de ese fenómeno?

Como ya habrá imaginado el lector, hay más preguntas que respuestas. Desde nuestra perspectiva, pensar la enseñanza de las ciencias naturales como posibilidad de educar a los estudiantes –construyendo y reconstruyendo sus representaciones sobre un fenómeno que tiene valor en tanto corresponde a su mundo– es, sin duda alguna, una forma novedosa de ver el currículo. Ello, en tanto se les resta influencia a los contenidos escolares *per se* para darle importancia a la configuración de modelos variados en torno a un cierto fenómeno –con impacto social– cuya complejidad, no sólo aumenta, sino que cambia epistemológicamente a medida que transcurren los ciclos escolares.

RECURSOS TEÓRICOS PARA DISEÑAR CONTENIDOS DE CIENCIA ESCOLAR CON CRITERIOS EXPLÍCITOS

Si seguimos a Izquierdo y Adúriz-Bravo (2005), ahora sabemos que no puede evitarse hablar espontáneamente de los hechos naturales con lenguajes que escapan al control científico. Por eso, se exploran las ideas alternativas y las explicaciones que el estudiante tiene sobre los fenómenos, pero se requieren unos referentes de ‘hechos –ideas– palabras’ que se esperarían fueran desarrollados en clase de ciencias. Esto es lo que aporta el MCEA. Veamos:

El MCEA permite planificar a la vez lo teórico, lo experimental y lo lingüístico (lo que puede ser pensado, lo que puede ser hecho, lo que puede ser dicho) para que, en conjunto, se aprendan las ideas fundamentales de las ciencias; gracias a una coherencia entre estas diferentes dimensiones, en el marco de la configuración de explicaciones que les dicen algo a los estudiantes sobre cómo funciona su realidad.

¿Cuál es el valor de un Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA)?

De acuerdo con Mercé Izquierdo (2005), considerar el aula de clase como un sistema didáctico, implica que lo que está en el libro o en la lección del profesor permite pensar, hacer, comunicar ideas a aquellos que lo leen o la escuchan.

Entonces, es oportuno y pertinente que la didáctica de las ciencias desarrolle criterios teóricos para la selección y organización de unos conocimientos escolares que puedan funcionar en un sistema didáctico y según las expectativas sociales y didácticas que se plantean. En esta oportunidad asumimos que es el MCEA el que contribuye a dar forma a los criterios para el diseño de secuencias didácticas orientadas a enseñar a pensar, hacer y hablar ciencia –pero ‘escolar’–, y que tienen lugar en un entorno dispuesto para la construcción de ese tipo especial de ciencia.

La identificación de demandas cognitivoeducativas

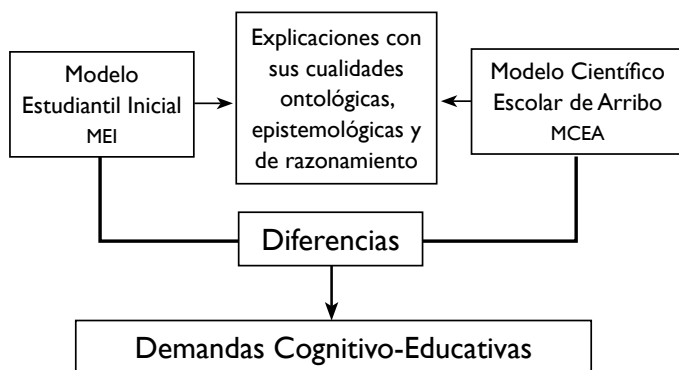
Nos hemos inspirado en el concepto de demandas de aprendizaje (Leach y Scott 2000; Scott y Leach 2007), que se fundamenta en la perspectiva constructivista social, según la cual se trata de hacer una comparación entre dos lenguajes sociales, a saber: el lenguaje social de la ciencia y el lenguaje social que los escolares son propensos a usar cuando se habla de fenómenos y eventos durante la clase de ciencias.

Las explicaciones propias de cada lenguaje social se describen en términos de la ontología, la epistemología y los patrones de razonamiento, de manera que una demanda de aprendizaje se identifica al comparar los dos lenguajes en lo relativo a dichos aspectos. Visto así, las demandas de aprendizaje –en un área de conocimiento dada– se utilizan para identificar la naturaleza exacta de la construcción de un contenido específico que necesita ser apoyado a través de la enseñanza.

Una vez reconocidos los aportes de Leach y Scott, preferimos referirnos en este libro a “demandas cognitivoeducativas”, en tanto consideramos que, en términos de la enseñanza de las ciencias desde la perspectiva de modelizar fenómenos de valor educativo expresados mediante el lenguaje, la clave es la diferencia entre el Modelo Estudiantil Inicial (MEI) y el MCEA (véase figura 1). La razón es que este último es producto de un ejercicio intelectual de tipo didáctico, en el cual el profesor pone en tensión lo que saben los estudiantes respecto al fenómeno (MEI), lo que dice el currículo de ciencias naturales al respecto para ese grado escolar (Modelo Curricular, MCu) y lo que dice la ciencia (Modelo Científico, MCi). Visto así, el MCEA se erige como la meta a la cual el profesor aspira llevar la modelización del estudiante y tiene entonces más sentido comparar el lenguaje de los estudiantes en su MEI con el del MCEA.

La identificación de la naturaleza de la demanda (ontológica o epistemológica) es útil para que el profesor sepa qué actividad diseñar para atenderla y en qué etapa de la modelización aplicarla.

Figura 1. Síntesis del concepto de “demandas cognitivoeducativas”



Fuente: adaptado de Giraldo, 2017.

El interés de este capítulo no es dar una prescripción sobre una SD que funcione para todos los alumnos. En la práctica, cada currículo es diferente, cada profesor presenta los contenidos con una orientación especial e indiscutiblemente, hay diferencias ontológicas y epistemológicas entre el MEI y el MCEA. Por ejemplo, muchos estudiantes creen que en el estómago hay un conducto para eliminar los desechos líquidos y otro para los desechos sólidos (aquí habría una demanda de tipo ontológico). Esto tiene implicaciones en la comprensión de las funciones que cumplen los sistemas circulatorio, excretor y respiratorio en la nutrición (esta demanda sería de tipo epistemológico).

Así entonces, el profesor de ciencias comprometido con la modelización se pregunta si el uso de figuras y esquemas sobre estos sistemas son suficientes para que los estudiantes sinteticen un modelo que los relacione fisiológicamente. De este modo, él entra en un ejercicio de transposición didáctica que se inicia con la justificación de las decisiones que toma en términos de los criterios adoptados, de acuerdo con el fenómeno a modelizar. Por ejemplo, la construcción de un modelo anatómico-fisiológico en clase de ciencias, puede ser suficiente para que los estudiantes de primaria (8 a

10 años) comprendan que hay unas estructuras dentro del cuerpo que son responsables de la transformación de los alimentos. Si bien, esta decisión sobre la enseñanza puede ser legítima para ese nivel, la modelización está guiada por las intenciones del profesor. Es decir, si la meta es una explicación compleja que ayude al estudiante a entender por qué las personas aumentan de peso y se engordan, el profesor debe tener claro: *a)* que lo que se modeliza no es la nutrición en sí, sino la obesidad, y *b)* que debe plantearse cómo ayudar a sus estudiantes a configurar otros modelos que atiendan al desequilibrio entre el consumo y gasto energético. Lo cual bien puede pensarse como una construcción a lo largo del currículo.

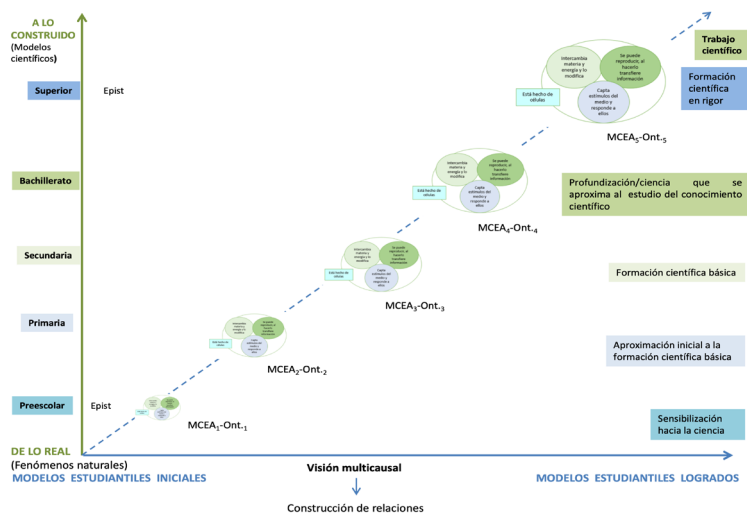
En esta selección de contenidos en función de un modelo teórico, se han de eliminar los conocimientos incompatibles o irrelevantes que pertenecen a otro modelo. Sólo se van a poder vincular significativamente conocimientos que pertenezcan al mismo modelo y, aunque esto ya es una gran ayuda para conectar informaciones, un determinado modelo no sirve para cualquier fenómeno. Así, los puentes entre ellos necesitan de una construcción específica de conocimiento, por lo cual, en la escuela debería planificarse un currículo coordinado; para que la complejidad de los modelos a construir aumente progresivamente a lo largo de los ciclos escolares.

Las acciones del alumnado en la clase de ciencias adquieren significado al llevarse a cabo intencionadamente, en el marco de un modelo científico. De esta manera forman parte de una “actividad científica escolar”, por la cual se transforma la manera de mirar gracias a la generación de los lenguajes adecuados; es decir, se construye conocimiento.

El MCEA funciona como una hipótesis en tanto es el referente de las metas de construcción de conocimiento a lograr por el estudiante (validación) mediante la secuencia didáctica (diseño experimental). El Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL) es la prueba de la hipótesis, en tanto da cuenta del ajuste entre la modelización alcanzada por el alumno y la esperada por el MCEA.

En su investigación sobre las representaciones mentales de estudiantes de 17-18 años sobre la respiración, Tamayo (2001) sugiere cómo es posible que tales representaciones se vayan haciendo más complejas y abstractas (desde el modelo de ventilación hasta el molecular); siempre que sea viable aproximarlos a los modelos científicos que permiten comprender teóricamente el fenómeno. La figura 2 pretende ilustrar la progresión en la modelización de un fenómeno biológico a medida que el estudiante pasa por los diferentes niveles educativos:

Figura 2. Progresión de la modelización de un fenómeno de valor educativo a lo largo del sistema educativo, para el caso de los seres vivos



Fuente: López Gordillo, 2019, que incorpora la propuesta de García, 2005.

A nuestro modo de ver, los profesores que realizan “buenas prácticas de enseñanza” intuyen actividades que ayudan a los estudiantes a hacer estas transformaciones. Lo que planteamos en este capítulo es que hace falta un referente que le facilite a cualquier profesor esa tarea; ayudándole a determinar cuáles son las metas de aprendizaje en cada fase del ciclo educativo. Tal referente es el MCEA. Esto es lo que permite asumir que, en clase de ciencias, el conocimiento

escolar se puede modelizar, aunque no tenga la formalidad y la elegancia del conocimiento científico. Esta perspectiva privilegia la meta educativa de formar ciudadanos capaces de entender cómo se piensa el mundo desde la ciencia.

¿Por qué un MCEA?

Desde una perspectiva didáctica, se asume en este libro que los fenómenos que se seleccionan son los que tienen valor educativo para la educación en ciencias. Hasta ahora, el criterio habitual para esta selección en los currículos del área científica natural es que los fenómenos que se traen al entorno educativo son los del mundo real explicados por la ciencia. Estos fenómenos tienen valor para la ciencia, pero no necesariamente para quienes necesitan una educación científica. A modo de ejemplo, aspectos relacionados con la nutrición como el metabolismo de los carbohidratos y las grasas son de importancia en la biología, pero han sido llevados a los currículos escolares siguiendo la lógica de la ciencia, no la del aprendizaje de los estudiantes.

Lo que se plantea aquí es que, en clase de ciencias, un fenómeno interesante de modelizar para los alumnos es el de los desórdenes alimenticios: la obesidad o la anorexia. La obesidad es un fenómeno dentro de la nutrición, pero se selecciona por su valor educativo, dado que es un problema de salud pública en países como México y Estados Unidos (Shamah, Amaya y Cuevas, 2012). Ahora bien, si dicho valor no está presente en otros países o contextos, lo que haría el profesor sería seleccionar otro fenómeno a modelizar dentro de la nutrición, que fuese significativo para los alumnos en cuanto que les resultara familiar. Dicho fenómeno pudiera ser la desnutrición.

El valor educativo de estos fenómenos se define por su significatividad y relevancia para los alumnos, en el contexto cotidiano y ciudadano en el cual se desenvuelven. Esto imprime una exigencia al MCEA, porque tales fenómenos se deben corresponder con

modelos que doten de sentido su mundo y que puedan aplicarse para explicar otros fenómenos afines.

Esta limitación puede generar una contradicción entre lo que puede ser significativo para los alumnos y los contenidos curriculares de los programas oficiales.

Aquí es donde aparece el concepto de “transposición didáctica” (Chevallard, 1985), en cuanto le permite al profesor transformar el conocimiento propio de la ciencia en otro que es apto para el estudiante en diferentes edades y contextos; en tanto incluye los lineamientos curriculares, sin que deje de ser riguroso y abstracto.

El MCEA es referente para la ciencia que se hace en la escuela, es decir, para la ciencia escolar. Su carácter ‘de arriba’ se lo confiere la posibilidad de definir las metas a alcanzar en la modelización de los alumnos. El MCEA tiene que garantizar que: *a*) si el alumno quiere, pueda eventualmente aprender la ciencia normativa (que depende de valores y condicionantes distintos a los que tiene la ciencia escolar), y *b*) que los modelos construidos escolarmente aporten los criterios necesarios para discernir entre ideas científicas y las que no lo son.

El valor de un modelo científico está en sus posibilidades para explicar los fenómenos que le conciernen. Hasta ahora, en muchos currículos se ha asumido que los fenómenos que son de interés científico también lo son para la educación en ciencias. Esta sola consideración puede explicar el fracaso de estas apuestas de formación, en tanto tales fenómenos no entran en comunicación con la vida del alumno.

La relación entre Modelo Científico Escolar (MCE) (Izquierdo, 2007) y el profesor se expresa en el currículo de ciencias, en tanto se configura este modelo y le sirve al profesor como referente para su acción y su reflexión. El MCE se relaciona con los alumnos porque hay que tener metas de aprendizaje que expresen el conocimiento científico escolar esperado para la etapa de desarrollo educativo en la cual se encuentre el alumno y que estén en sintonía con las demandas cognitivas propias para el modelo. Este sería el MCEA.

A partir de los lineamientos del currículo pensado para la modelización, el profesor debe diseñar secuencias didácticas en las cuales organice, de forma lógica para el alumno, un conjunto de actividades que le faciliten el logro de mayores niveles de complejidad en la modelización hasta llegar al MCEA. En otras palabras, los alumnos tienen la posibilidad de construir modelos científicos escolares.

Para que un conocimiento se considere científico escolar (CE) debe pasar por un proceso de validación y legitimación que tiene lugar en la medida en que se diseñan y ponen en marcha secuencias didácticas que permitan a los estudiantes aproximarse al MCEA. Las SD juegan un rol fundamental que trasciende el ámbito meramente metodológico. En esta perspectiva, asumen el papel de estrategias mediante las cuales se valida un MCEA; por eso su diseño lleva al extremo las capacidades intelectuales del profesor de ciencias, porque además de la novedad y la creatividad de las actividades para sus alumnos, debe darles la coherencia lógica (para los alumnos) que les permita entrar en comunicación directa con sus explicaciones sobre el mundo real o con sus modelos incipientes; esto a medida que pasa por fases de enseñanza orientadas a que su modelización alcance progresivamente niveles de complejidad cada vez mayores. La validez del MCEA se define por la proximidad del MCEL construido por los alumnos con aquél. Esta validez tiene los límites que le impone el contexto (cultural, sociológico, antropológico) para el cual se diseñó la SD.

Consideramos que un MCEA puede quedar validado por el éxito de la SD, al evidenciar que la modelización lograda por los estudiantes es lo más próxima posible a dicho MCEA. Pero eso no quiere decir que quede legitimado como MCE. Para ello, la legitimidad se la da la consistencia del MCE con el fenómeno de valor educativo a modelizar, teniendo en cuenta las condiciones sociales, históricas, culturales, económicas y políticas del contexto de los alumnos. Para el caso de contenidos relacionados con la nutrición y el balance energético en los humanos, una SD que atiende a modelizar la

obesidad puede ser ilegítima en currículos de países africanos con crisis políticas, de salud y/o en estado de guerra.

Cuando se aplica una SD diseñada para promover la modelización por parte de los alumnos de un fenómeno de valor educativo, el referente es el MCEA, porque determina cuáles son los criterios a tener en cuenta al diseñar la secuencia y al señalar la meta a la cual se pretende llegar. Los resultados obtenidos (lo que pueden alcanzar los estudiantes en clase por efecto de la intervención didáctica a la que han sido expuestos mediante las actividades de enseñanza), se entienden en el marco del MCEL e informan al profesor sobre la efectividad del diseño didáctico para aproximar los modelos de los alumnos a dicho referente.

Por muy consistente que sea el diseño de una SD, no hay garantía de que al aplicarla se obtengan los mismos resultados para cualquier grupo de alumnos. Millar (2010) y Wallin y West (2013) ya habían aludido a que cada tema impone unas condiciones específicas de enseñanza.

EL ÁMBITO DE LA PRÁCTICA DOCENTE EN LA MODELIZACIÓN

Méheut y Psillos (2004) reconocen que en su propuesta de rombo didáctico para validar secuencias de enseñanza no está presente el “contexto”. Para el caso del MCEA, consideramos que es un elemento ineludible en cuanto permite explicar las decisiones que toma el profesor a la hora de adaptar SD para sus alumnos. El “contexto” contiene entonces los elementos culturales, antropológicos o sociológicos –entre otros– que se requiere tener en cuenta. Su adopción permite responder a las preguntas que surgen cuando se analizan entrevistas a profesores de ciencias sobre la planeación y grabaciones de clases, en las cuales se observa que el diseño de las secuencias planeadas sufre ajustes en medio de la actividad escolar.

De acuerdo con Wallin y West (2013), los profesores tienen que:

- Verse a ellos mismos como representantes de la cultura científica en tanto presentan los modelos de la ciencia en formas plausibles para los alumnos, introducen conceptos, dan explicaciones y propician oportunidades para que ellos las usen.
- Conocer las ideas de sus alumnos respecto a los fenómenos, ya sea porque las exploran directamente en sus grupos de alumnos o porque las indagan en la literatura especializada. En este punto es importante considerar que las ideas de los alumnos compiten con las que se les enseñan, entonces el reto está en lograr, a lo largo de la SD, que los alumnos lleguen a compartir las ideas de la comunidad científica.
- Crear en el aula un clima adecuado para que los estudiantes compartan sus ideas, las discutan y reflexionen sobre sus propios puntos de vista.
- Destinar una buena parte del tiempo de clase a actividades en las que los alumnos hablen, escriban, lean y escuchen sobre las nuevas ideas y apliquen lo aprendido a otras situaciones.
- Involucrar la evaluación formativa como fuente de información: para el alumno sobre cómo va su aprendizaje y para el profesor sobre qué ajustes hacer en su enseñanza.
- Dejar de asumir que los estudiantes ya deberían traer motivación y actitudes positivas hacia el aprendizaje. El profesor es quien debe crear ese interés y motivación.

CONSTRUCCIÓN DEL MCEA Y DISEÑO DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA (SD)

Se asume entonces, que el planteamiento del MCEA es el referente que permite derivar criterios a tener en cuenta para el diseño de la SD, estableciendo de manera anticipada a dónde quiere que arriben los estudiantes después de que se implemente la SD. Estos criterios

comprenden las ideas espontáneas que tienen los estudiantes para explicar el fenómeno seleccionado, la propuesta curricular del contexto, el planteamiento científico que explica el fenómeno y las demandas cognitivas-educativas que presentan los estudiantes. En este apartado se explicita la formulación de cada uno de estos criterios.

¿Cómo identificar un fenómeno con valor educativo?

Para la enseñanza de las ciencias, es importante proponer un fenómeno de relevancia desde el punto de vista del contexto y desde lo científico (Izquierdo, Sanmartí, Espinet, García y Pujol, 1999). Un fenómeno ubicado dentro de la enseñanza de las ciencias con un valor educativo implica pensar en la importancia que tienen para los estudiantes, tanto lo cognitivo y lo social (véase capítulo 4), como la explicación de dicho fenómeno por medio de un modelo científico (véase capítulo 5).

Construcción del MCEA

La enunciación del MCEA no puede separarse de la de otros que le dan forma (MEI-Modelo Curricular) ni de la de aquellos que le sirven de referente (MCi-Modelo Científico) (véase capítulo 1). Su enunciación pasa por las siguientes fases:

La obesidad humana como fenómeno con valor educativo

Puede afirmarse que los currículos de ciencias vigentes en muchos de nuestros países toman como referente el contenido disciplinar y seleccionan de éste algunos temas que se consideran de relevancia para la formación de los estudiantes. Pero los presentan de manera fragmentada y desprovista de un fenómeno con valor educativo,

porque el fenómeno que se privilegia es el que tiene valor para la ciencia. Esto representa la primera ruptura con las actitudes y emociones del alumno hacia el aprendizaje de la ciencia.

De ahí la importancia de que el profesor identifique un fenómeno que sea significativo para los alumnos, porque forma parte de sus vivencias y puede ser explicado mediante un modelo científico. Así entonces, para el caso que nos ocupa, el fenómeno con valor educativo que se eligió fue el de la *obesidad humana*, que puede ser explicado por un modelo anatómico-fisiológico; otro de balance energético; uno más que tenga que ver con hábitos de higiene alimentaria y, por supuesto, por uno de orden bioquímico.

Apropiación conceptual de la definición de modelo

Para que un profesor pueda implementar el MCEA, necesita retomar una definición de modelo (véase capítulo 1) y usarla para interpretar la estructura de los modelos a elaborar. En un ejercicio de transposición didáctica, el profesor elige a qué modelo explicativo quiere llevar a sus estudiantes y los criterios para hacerlo se basan en un profundo conocimiento de las condiciones del grupo escolar al que va dirigida la enseñanza. En el modelo se identifican tres grandes constituyentes:¹ el ontológico, el epistemológico y el psicológico. Estos constituyentes se erigen como columnas que sostienen el modelo. El constituyente ontológico organiza las entidades y sus propiedades; el epistemológico permite expresar las relaciones que se establecen entre entidades y propiedades, así como las reglas de inferencia que permiten predecir el comportamiento del fenómeno. Y el psicológico es el motor de búsqueda/transformación que conecta los constituyentes ontológicos y epistemológicos, en términos de las relaciones causales que les permiten a los sujetos explicar el mundo y predecir el comportamiento de los sistemas que lo componen, para poder actuar en él. Las actividades de enseñanza

¹ De acuerdo con el modelo Onepsi de Rufina Gutiérrez (véase capítulo 1).

se centran, entonces, en proporcionar las condiciones de robustez y consistencia al modelo que se está construyendo en el entorno escolar. La búsqueda de estas condiciones va ligada a la necesidad que surge en el estudiante de tener una explicación satisfactoria sobre el fenómeno.

Visto así, en el mejor de los casos los currículos recogen el constituyente ontológico (entidades y propiedades, por ejemplo, en la teoría celular se recoge la definición de célula, entre las entidades se identifican las estructuras celulares, sus funciones, las diferencias entre tipos de células, etcétera) y se deja al alumno la difícil tarea de pasar al constituyente epistemológico: establecer relaciones causales entre entidades y reglas de inferencia de comportamientos generalizados. En alguna parte del proceso, el profesor le pide al alumno que exprese cuáles son sus dificultades para entender la teoría, pero el alumno no lo puede hacer porque está ausente el constituyente psicológico² que le permite saber, por una parte, cuál es la distancia entre su modelo estudiantil y el modelo que el profesor desea que aprenda (MCEA) y, por otra, son reducidas las oportunidades para favorecer el pensamiento causal necesario para inferir, y que abarca los modos de pensamiento científico como el hipotético-deductivo, inductivo y abductivo (Adúriz-Bravo, 2015).

En la propuesta del MCEA, se rescata la importancia de enseñarle al alumno a construir para sí mismo todos los constituyentes, de manera que la mayor parte del tiempo de la SD debe estar destinada a ofrecerle las oportunidades para que aprenda a hacer relaciones (causales entre entidades que conforman el sistema que da cuenta del fenómeno) y a derivar inferencias (que le ayuden a aprender a observar su comportamiento y a predecirlo).

² Motor que mueve al individuo a explicarse cómo es que suceden los fenómenos y, si el objetivo que tiene el profesor en mente para alcanzar con sus estudiantes es demasiado alejado o resulta de muy fácil tránsito, el resultado será aburrimiento por parte de ellos.

Homogeneizar los modelos

El profesor requiere explicitar inicialmente tres modelos, a saber: el que recoge las representaciones de los estudiantes antes de la intervención con la SD, el que sintetiza lo que dice el currículo escolar vigente y el modelo que permite explicar el fenómeno desde un punto de vista científico. Estos modelos (que serán explicados con mayor detalle a continuación), necesitan ser expuestos usando la misma estructura a fin de que el profesor pueda contrastarlos para entender el reto didáctico al que se enfrenta. A dicho proceso de contraste lo llamamos en este libro “homogeneización”, pero hay que tener en cuenta que el contraste es posible porque la estructura conceptual que se usa es la del modelo Onepsi. Visualizar estos tres modelos, tomando como base la definición de modelo científico de Gutiérrez (2001, 2014), le facilita al profesor ‘tensionarlos’ para tomar decisiones relativas a la meta de aprendizaje a la cual desea aproximar a sus estudiantes, que no es otra cosa que el MCEA.

Elaboración del Modelo Estudiantil Inicial, MEI

Está constituido por las ideas espontáneas de los alumnos sobre el fenómeno, organizadas por edad, nivel educativo o disciplina. Procede de la literatura especializada o de experiencias del profesor respaldadas en evidencias aportadas por sus alumnos, donde se indaga por sus ideas explicativas respecto al fenómeno.

Elaboración del Modelo Curricular, MCu

Está implícito en los programas de estudio. Allí se identifican propósitos, aprendizajes esperados, competencias o cualquier otra denominación que aluda a los desarrollos a alcanzar por parte de los alumnos durante cierta etapa del ciclo educativo.

Elaboración del Modelo Científico, MCi

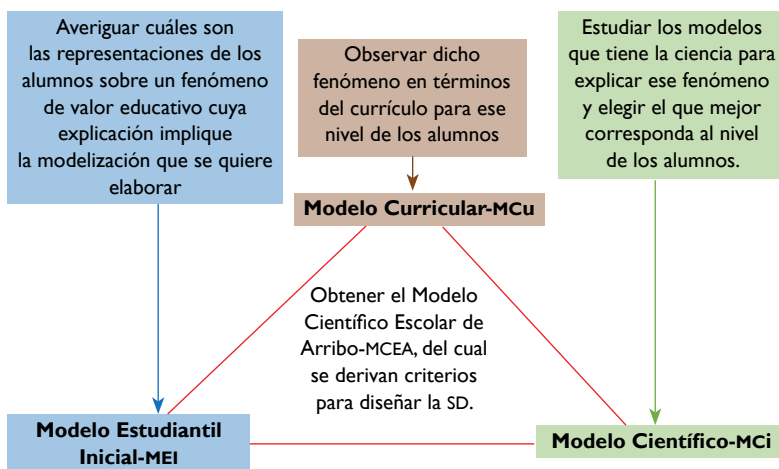
Que sería el modelo aceptado por la ciencia y, por lo tanto, vigente para la comunidad científica. Es posible que este modelo se aproxime al de la educación superior en versión básica.

Tensión de los modelos

Después de homogeneizar los tres modelos (MEI-MCu-MCi) tomando como base la definición de modelo científico Onepsi, se procede a tensionarlos ubicando los puntos de coincidencia entre ellos, pero también de discrepancia para poder constituir el MCEA. Este ejercicio de tensión de los tres modelos (MEI-MCu-MCi) para explicitar el MCEA, se puede observar en la figura 3:

Figura 3. Tensión de los modelos: Estudiantil Inicial (MEI), Curricular (MCu) y Científico (MCi) para obtener el MCEA

Obtención del MCEA: El origen de los criterios para el diseño de la SD



Además de lo anterior, la definición del MCEA debe considerar explícitamente el fenómeno con valor educativo –obesidad humana en este caso–, el nivel y grado de formación de los alumnos y su

contexto, es decir, los aspectos culturales, sociológicos, antropológicos o de otra índole que puedan constituirse en variables determinantes para la modelización que realicen los alumnos.

Explicitación de las demandas cognitivoeducativas

Estas demandas están entendidas como la diferencia entre el MEI y el MCEA. La identificación de la naturaleza de la demanda (ontológica o epistemológica), puede ser útil para que el profesor sepa qué actividad diseñar para atenderla y en qué etapa de la modelización aplicarla.

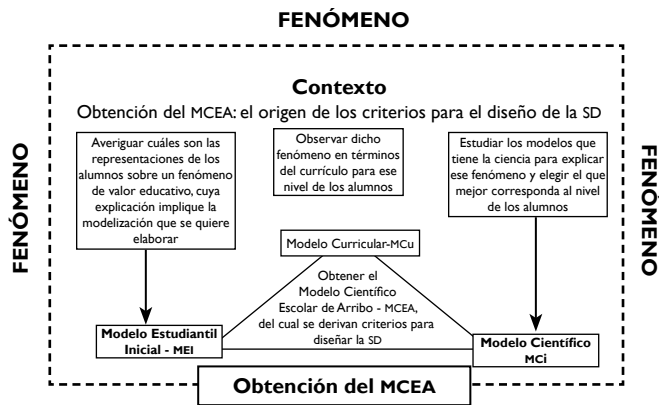
Diseño de una SD orientada a que los alumnos se aproximen al MCEA

En este punto hay que recordar que la distancia entre el MCEL y el MCEA es el indicador de la efectividad de la práctica docente (Park y Oliver, 2008), valida la secuencia diseñada y legitima el MCEA como un Modelo de Ciencia Escolar.

Basándonos en las propuestas de Tamayo (2001) sobre representaciones mentales, se asume que los modelos estudiantiles van ‘madurando’ en términos ontológicos y epistemológicos a medida que el estudiante progresa en niveles educativos. La manera de observar dicha ‘maduración’ es mediante sus producciones orales y escritas; es decir, la refinación en el lenguaje es el indicador de la madurez de la modelización del estudiante que se obtiene al comparar su MEI con su MCEL.

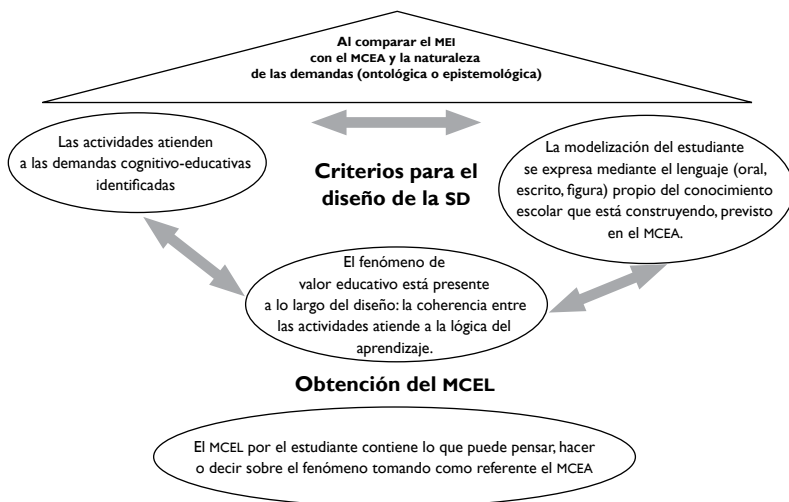
En la figura 4 pretendemos sintetizar las acciones que un profesor necesitaría realizar para obtener el MCEA y diseñar la SD: identificar las demandas cognitivoeducativas y diseñar la SD a partir de unos criterios que se relacionan entre sí. En el próximo apartado se mostrarán ejemplificadas estas demandas junto con la SD diseñada para abordar el fenómeno de la obesidad con estudiantes del ciclo secundario.

Figura 4. Configuración del MCEA y criterios para el diseño de la SD



MODELO CIENTÍFICO ESCOLAR DE ARRIBO				
ASPECTOS DEL FENÓMENO	DIMENSIÓN ONTOLÓGICA		DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA	
	ENTIDADES	PROPIEDADES	RELACIONES Causa-efecto	REGLAS DE INFERENCIA
<p>IDENTIFICACIÓN DEL FENÓMENO</p> <p>¿Qué es?</p> <p>¿Dónde ocurre?</p> <p>¿Cuándo ocurre?</p> <p>¿Cómo ocurre?</p> <p>¿Por qué ocurre?</p> <p>¿Qué consecuencias tiene?</p> <p>¿Qué causas tiene?</p> <p>¿Qué efectos tiene?</p> <p>¿Qué relaciones tiene?</p> <p>¿Qué reglas de inferencia tiene?</p>	<p>1. ¿Qué entidades existen?</p> <p>2. ¿Qué propiedades tienen?</p> <p>3. ¿Qué relaciones existen?</p> <p>4. ¿Qué reglas de inferencia existen?</p>	<p>1. ¿Qué propiedades existen?</p> <p>2. ¿Qué relaciones existen?</p> <p>3. ¿Qué reglas de inferencia existen?</p>	<p>1. ¿Qué relaciones existen?</p> <p>2. ¿Qué reglas de inferencia existen?</p>	<p>1. ¿Qué reglas de inferencia existen?</p>

Obtención de las demandas cognitivo-educativas



Configuración del MCEA para el caso de la obesidad humana

Los autores de este libro optamos por llevar a los lectores a lo largo de un camino que les permita comprender la complejidad de abordar la enseñanza desde la perspectiva de modelizar un fenómeno de valor educativo como la obesidad humana. Así entonces, en este apartado se exponen las fases que se tienen en cuenta para la configuración del MCEA, además de su eventual aplicación práctica para el caso de estudiantes de primero de secundaria. Esto significa que se mostrará el diseño de una posible SD a partir de los criterios derivados del MCEA, pero no sus resultados. Invitamos a los lectores interesados en observar las evidencias obtenidas, a leer el capítulo 7, en donde se detallan resultados de la aplicación de la SD con un grupo real de alumnos de primaria.

Tanto el diseño de la SD que se presenta en este capítulo, como los resultados que se verán en el siguiente, corresponden con un modelo de balance nutricional-energético. Como se mencionó al comienzo del capítulo, esta decisión se basa en la necesidad de describir desde un nivel microgenético lo que significa ‘recortar’ el fenómeno, es decir, el MCEA a construir se volvería inabordable en las condiciones escolares, si se incluyeran aspectos culturales, sociales, etcétera. A efectos de definir los alcances de la modelización, el profesor se ve enfrentado a decidir cuál es el modelo de ciencia escolar susceptible de ser elaborado por sus estudiantes –en este caso– de secundaria. Ésta es la razón por la cual uno de los modelos que se ponen en tensión al configurar el MCEA, es el curricular: los contenidos que allí se expresan, se convierten en referentes que dan los límites al modelo a construir en clase.

Para el caso del currículo mexicano, los contenidos se sitúan en los aspectos anatómicos y fisiológicos, con lo cual, las reglas de inferencia, posibles hipótesis y otras relaciones que surgen desde los constituyentes epistemológico y psicológico del Onepsi determinan que el modelo de referencia más adecuado para la modelización de la obesidad humana por parte de los alumnos es el

nutricional-energético, porque permite explicar qué son las relaciones sistémicas entre los aparatos implicados (digestivo, circulatorio, respiratorio, excretor...), las que permiten entender el aumento de peso.

Las fases que se tienen en cuenta para la configuración del MCEA son expuestas en este apartado, así como su aplicación práctica para el caso de la obesidad humana con estudiantes de nivel secundaria.

Selección del fenómeno con valor educativo

Se reconoce la obesidad humana como el fenómeno biológico con valor educativo a modelizar, debido a que el contexto donde se propone implementar la SD es el mexicano, donde existe una problemática cultural, social y económica que indica el incremento de casos de obesidad en la población debido –primordialmente– a un desequilibrio entre la ingesta calórica y el gasto energético (Shamah *et al.*, 2012). Así entonces, para el caso que nos ocupa, el fenómeno biológico de la obesidad humana se explica por un modelo que alude al balance energético.

Apropiación conceptual de la definición de modelo

De acuerdo con la perspectiva teórico-metodológica del MCEA que ya se ha venido planteando, el equipo de investigadores³ ha venido desarrollando un esquema en formato de tabla para enunciar los constituyentes ontológicos (entidades y propiedades), y epistemológicos (relaciones de causa y efecto, y reglas de inferencia) acogiendo la definición de modelo científico Onepsi de Gutiérrez (2001, 2014).

³ Red compuesta por investigadores en la Universidad Pedagógica Nacional de México, Universidad de Antioquia y la University of British Columbia, junto con estudiantes de posgrado de la primera de estas universidades.

Elaboración del Modelo Estudiantil Inicial, MEI

Se construyó a partir de dos fuentes de información: *a)* la revisión de las ideas espontáneas de estudiantes de secundaria sobre fenómenos asociados a la digestión y a la nutrición, reportadas en la literatura, y *b)* la exploración de estas ideas en un grupo de estudiantes de primero de secundaria de una escuela privada en la Ciudad de México, mediante un instrumento de diagnóstico aplicado al comenzar la SD en el que se les preguntó por lo que sucede en el cuerpo humano con los alimentos que se consumen y la explicación del fenómeno de la obesidad.

Elaboración del Modelo Curricular, MCu

Este modelo se construyó a partir del programa de estudios de la Secretaría de Educación Pública en México [SEP] (2011). Debido a que el fenómeno de la obesidad no está como objeto de enseñanza en este contexto educativo, para inferir el modelo hubo que, primero, visualizar lo propuesto por la SEP para la enseñanza de la nutrición humana en primero de secundaria y, luego, hacer una selección de las ideas relevantes y que puedan dar explicación al fenómeno de la obesidad humana.

Elaboración del Modelo Científico, MCI

Se construyó a partir de una selección que hace el profesor de lo planteado por la ciencia para la explicación biológica del fenómeno de la obesidad humana. Para este caso, se seleccionó el modelo homeostático-energético escogiendo las entidades más apropiadas para la configuración del MCEA, debido a que en el ámbito de la biología el fenómeno se podía explicar desde lo genético, lo metabólico o lo endocrino. Aunque los tres modelos son válidos para explicar el fenómeno biológico de la obesidad humana, en el caso del grado escolar escogido para la intervención, no había conocimientos previos y algunos no se habían abordado a profundidad en

el contexto escolar. Lo anterior determinó que el modelo científico se estipulara desde el equilibrio energético de un ser humano en condiciones saludables.

Homogeneizar los modelos

La figura 3 referida en párrafos anteriores se usó como herramienta metodológica para construir los modelos: MEI, MCI y MCu, pero es importante recordar que se inspira en el Onepsi. Identificar los constituyentes ontológicos y epistemológicos de cada modelo es lo que permite homogeneizarlos, en tanto que le facilita al profesor compararlos entre sí y visualizar afinidades, discrepancias y coincidencias. Esta homogeneización es preliminar a la configuración del MCEA. Su ejemplificación se puede observar en las figuras 5, 6 y 7.

Tensión de los modelos

A continuación, se presenta un ejemplo de cómo se llevó a cabo la tensión de los modelos con los constituyentes ontológicos (entidades y propiedades) y epistemológicos (relaciones causa-efecto y reglas de inferencia) para la obtención del MCEA, en el caso del fenómeno de la obesidad humana con estudiantes de secundaria en México.

En la figura 5 se muestra un ejemplo de las entidades que se encuentran en los modelos MEI, MCu y MCI, para la explicación de la transformación de nutrientes en el cuerpo. El MCEA expone las entidades que coinciden en los tres modelos, pero también las que cobran relevancia para la explicación del fenómeno (para este caso algunas sólo se enuncian en el MCI).

Figura 5. Homogenización de los modelos para obtener entidades en el MCEA

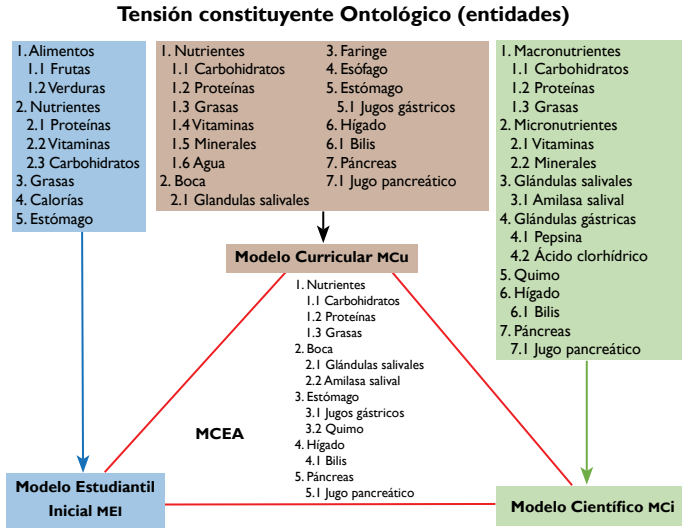
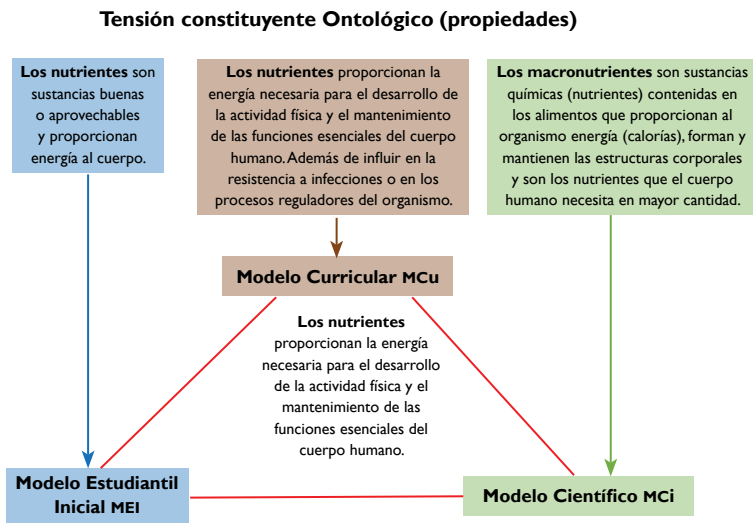


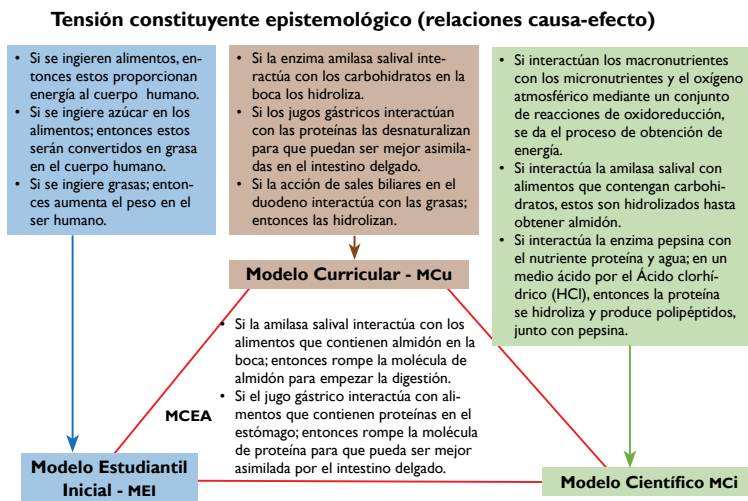
Figura 6. Homogenización de los modelos para obtener propiedades en el MCEA



En la figura 6 se presenta un ejemplo de una propiedad correspondiente a la entidad nutriente que se encuentran en los modelos MEI, MCu y MCI.

En la figura 7 se puede ver, con un ejemplo, las relaciones de causa y efecto que se encuentran en los modelos MEI, MCu y MCI, para la explicación de la transformación de nutrientes y absorción de los mismos en el cuerpo. El MCEA expone las relaciones que tienen en común los tres modelos.

Figura 7. Homogenización de los modelos para obtener relaciones causa-efecto en el MCEA



El ejercicio de tensión en el constituyente epistemológico, con respecto a las reglas de inferencia, es más exigente debido a que las reglas de inferencia se configuran partiendo de la explicación que se tiene del fenómeno: para el MEI el aumento de peso lo hace la ingestión de calorías; el MCu no explica el gasto o almacenamiento de energía; el MCI propone diferentes reglas de inferencia para la explicación de la obesidad humana. Por lo tanto, las reglas de inferencia del MCEA fueron una traducción de lo postulado por el MCI en un lenguaje accesible para los estudiantes, debido a que el MEI y el MCu no tenían un planteamiento claro con respecto al fenómeno.

Postulación del Modelo Científico Escolar de Arribo, MCEA

Después de haber realizado la comparación de los modelos MEI, MCu y MCi, se postula el MCEA que se visualizará en la tabla 1, organizado en cuatro ámbitos debido al proceso biológico que se lleva a cabo para poder explicar cómo se da la ingesta calórica (transformación, absorción y transporte de los nutrientes) y el gasto energético (almacenamiento y gasto energético) en el ser humano, desde la homeostasis energética, y los criterios que se tuvieron en cuenta para la composición de los constituyentes ontológicos y epistemológicos.

Tabla 1. MCEA obtenido para modelizar el fenómeno de la obesidad humana en 1º. de secundaria

MODELO CIENTÍFICO ESCOLAR DE ARRIBO				
MCEA	Fenómeno de referencia	Obesidad Humana		
	Procesos involucrados	Aproximación Homeostático-Energética (ingesta calórica y gasto energético) de la nutrición humana		
	Condiciones del fenómeno	Saludables (ser humano con obesidad sin afección genética y endocrina, solamente por balance positivo energético)		
		DIMENSIÓN ONTOLÓGICA	DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA	
ÁMBITOS DEL FENÓMENO	ENTIDADES	PROPIEDADES	RELACIONES CAUSA-EFECTO	REGLAS DE INFERENCIA
INGESTA CALÓRICA Transformación de los nutrientes	1. Nutrientes 1.1. Carbohidratos 1.2. Proteínas 1.3. Grasas 2. Boca 2.1. Glándulas salivales 2.2. Amilasa salival 3. Estómago 3.1. Jugos gástricos 3.2. Quimo 4. Hígado 4.1 Bilis 5. Páncreas 5.1 Jugo pancreático	1. Proporcionan la energía necesaria para el desarrollo de la actividad física y el mantenimiento de las funciones esenciales del cuerpo humano. 2. Inicia el proceso de digestión con la saliva y los dientes. 2.1. Segregar la enzima amilasa salival. 2.2. Romper la molécula de almidón en los alimentos ingeridos. 3. Recibir el bolo alimenticio, mezclarlo con el jugo gástrico y volverlo apto para ser recibido por el intestino delgado. 3.1. Descomponer la estructura molecular de las proteínas. 3.2. Masa semilíquida y ácida de los alimentos parcialmente digeridos. 4. Produce bilis que vierte al intestino delgado. (Duodeno). También conversión del exceso de glucosa en glucógeno para almacenamiento (luego, el glucógeno vuelve a transformarse en glucosa para energía a medida que se necesita). 4.1. Líquido que ayuda a la digestión permitiendo que las grasas se combinen con el contenido acuoso del intestino. 5. Produce jugo pancreático que vierte al intestino delgado (duodeno). 5.1. Descompone la estructura molecular de los carbohidratos, proteínas y grasas; para que sean absorbidas por las vellosidades intestinales.	Si la enzima amilasa salival interactúa con los alimentos que contienen almidón en la boca, entonces rompe la molécula de almidón para empezar la digestión. Si el jugo gástrico interactúa con alimentos que contienen proteínas en el estómago, entonces rompe la molécula de proteína para que puedan ser mejor asimilada por el intestino delgado. Si interactúa la bilis en el duodeno con las grasas, entonces convierte la grasa en pequeñas gotitas que pueden ser mejor transportadas en la sangre. Si el jugo pancreático interactúa en el intestino delgado con el quimo (compuesto principalmente por los carbohidratos, grasas y proteínas); entonces descompone la grasa, la proteína y los almidones en nutrientes digeridos que pueden ser absorbidos por las vellosidades intestinales.	

(continuación)

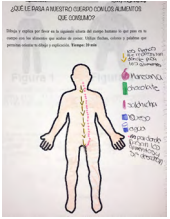
<p>INGESTA CALÓRICA</p> <p>Absorción de los nutrientes</p>	<p>6. Intestino delgado 6.1. Duodeno 6.2. Yeyuno 6.3. Íleon</p> <p>7. Vellosidades intestinales</p>	<p>6. Tubo largo que ayuda en la digestión de los nutrientes. 6.1. Recibir el quimo y neutralizar el ácido que este contiene. También recibir la bilis y el jugo pancreático. Descomponer conforme pasa la estructura mezclada de proteínas, grasas y carbohidratos de la comida. 6.2. Recibir la combinación procedente del duodeno. Absorber la glucosa y los aminoácidos por medio de las vellosidades intestinales. 6.3. Absorber el agua, los minerales y las sales, así como las grasas y los nutrientes restantes. Las grasas pueden pasar directamente de los intestinos al torrente sanguíneo.</p> <p>7. Absorber nutrientes y fluidos en el cuerpo; y conecta con el sistema circulatorio.</p>	<p>Si los nutrientes digeridos (glucosa, aminoácidos y ácidos grasos) interactúan con el jugo pancreático y la bilis en el yeyuno con las vellosidades intestinales, entonces estos nutrientes ingresan en el sistema circulatorio por los capilares sanguíneos.</p>	
<p>INGESTA CALÓRICA</p> <p>Transporte de los nutrientes</p>	<p>8. Sistema circulatorio 8.1. Sangre 8.2. Vasos sanguíneos 8.3. Corazón</p>	<p>8. Distribuir la sangre por todos los órganos y tejidos del cuerpo. 8.1. Llevar a cada una de las células del cuerpo humano los nutrientes obtenidos del intestino delgado y el oxígeno obtenido en la respiración. 8.2. Llevar la sangre del corazón a los órganos y tejidos (arterias) y viceversa (venas). 8.3 Recoger la sangre del organismo, pobre en oxígeno y bombearla hacia los pulmones, donde se oxigena y libera los desechos (dióxido de carbono).</p>	<p>Si los nutrientes digeridos ingresan en el sistema circulatorio por los capilares sanguíneos, entonces son transportados por la sangre hacia los vasos sanguíneos mayores.</p> <p>Si la sangre rica en nutrientes que proviene del intestino delgado circula hacia el hígado, entonces esta glándula transforma algunos nutrientes como la glucosa en glucógeno y la almacena.</p>	<p>Cuando el organismo necesita energía, el hígado transforma el glucógeno en glucosa la cual se envía a la sangre hacia el corazón, que la impulsa por todo el cuerpo. Si la glucosa se llega a transformar en glucógeno, entonces un ser humano que supere su requerimiento energético podrá desarrollar obesidad (incluso si su dieta está libre de grasas).</p>
<p>GASTO ENERGÉTICO</p> <p>Almacenamiento y gasto de energía</p>	<p>9. Tejido adiposo 9.1. Adipocitos</p> <p>10. Glucógeno</p> <p>11. Triglicéridos</p> <p>12. Oxígeno</p>	<p>9. Almacenar grasa. 9.1 Células encargadas de almacenar energía en forma de grasa, por lo que constituyen el tejido adiposo o tejido graso.</p> <p>10. Molécula de almacenamiento de energía. Es la forma principal de reserva de glucosa y se almacena principalmente en el hígado y en los músculos.</p> <p>11. Ácido graso. Una vez digeridos, los triglicéridos de la dieta circulan en la sangre para ser utilizados como energía por las células. Los triglicéridos no utilizados por las células se almacenan como grasa corporal para suplir las necesidades de energía del cuerpo entre las comidas.</p> <p>12. El oxígeno hace parte del metabolismo basal como agente de COMBUSTION, que aumenta durante el ejercicio aeróbico.</p>	<p>Si los triglicéridos transportados por la sangre provenientes del intestino delgado o del hígado interactúan con el tejido adiposo llegando hasta los adipocitos; entonces los triglicéridos serán almacenados en forma de gotas que se unen hasta formar un gran glóbulo que podría ocupar casi todo el volumen celular.</p> <p>Si el ser humano realiza una actividad física intensa, su principal fuente de energía es la glucosa, obtenida a partir de las reservas del glucógeno en el hígado y músculos. Entonces resultaría una tonificación y desarrollo de la masa muscular.</p> <p>Si el hígado convierte el exceso de azúcar en triglicéridos, entonces estos los almacena en las células del hígado como grasa (glucógeno).</p> <p>Para obtener la energía necesaria para realizar ejercicio aeróbico, es preciso quemar hidratos y grasas, y para ello se necesita oxígeno.</p>	<p>El consumo de alimentos ricos en azúcar como los dulces, helados, refrescos gaseosos con azúcar; panes y galletas dulces de todo tipo elevan los niveles de triglicéridos.</p> <p>Si un ser humano tiene un estilo de vida sedentario, entonces la cantidad suministrada de oxígeno no es suficiente para "quemar" las reservas de grasa [con lo que se genera obesidad].</p>

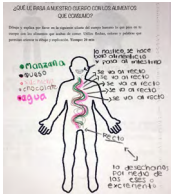
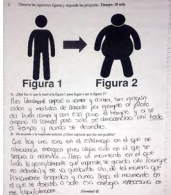
Fuente: Galvis Solano, 2019.

Explicitación de las demandas cognitivoeducativas

Se da a partir del contraste entre el MEI y el MCEA para comprender las necesidades y fortalezas de las explicaciones de los estudiantes y, así, ajustar las actividades que se proponen en la SD. Algunos ejemplos de estas demandas están en la tabla 2:

Tabla 2. Ejemplos de la explicitación de las demandas cognitivoeducativas

Instrumentos	Transcripción	MEI	MCEA (Tabla 1)	Demandas cognitivo-educativas de los estudiantes
	<p>Indicación: Dibuja y explica en la siguiente silueta del cuerpo humano lo que pasa en tu cuerpo con los alimentos que acabas de comer. Utiliza flechas, colores y palabras que permitan orientar tu dibujo y explicación.</p> <p>Estudiante: Las flechas representan por donde pasan los alimentos (manzana, chocolate, salchicha, queso, agua). Por donde pasan los alimentos y se desechan.</p>	<p>El estudiante asume una línea directa (flechas) entre la boca y el ano que indica el recorrido de los alimentos (puntos) sin una aparente transformación.</p>	<p><u>Dimensión ontológica</u> Entidades: nutrientes, boca, estómago, hígado, páncreas, intestinos, vellosidades intestinales; con sus correspondientes propiedades. Por ejemplo, hígado: produce bilis que vierte al intestino delgado (duodeno). También conversión del exceso de glucosa en glucógeno para almacenamiento (luego, el glucógeno vuelve a transformarse en glucosa para energía, a medida que se necesita).</p> <p><u>Dimensión epistemológica (relación causa-efecto)</u> Si interactúa la bilis en el duodeno con las grasas; entonces convierte la grasa en pequeñas gotitas que pueden ser mejor transportadas en la sangre.</p>	<p>Enunciar las entidades que intervienen en el proceso de digestión y absorción de los nutrientes, con sus propiedades. [Ontológica].</p> <p>Explicar los procesos digestivos en el ser humano. [Epistemológica].</p>

Instrumentos	Transcripción	MEI	MCEA (Tabla 1)	Demandas cognitivo-educativas de los estudiantes
	<p>Indicación: Dibuja y explica en la siguiente silueta del cuerpo humano lo que pasa en tu cuerpo con los alimentos que acabas de comer. Utiliza flechas, colores y palabras que permitan orientar tu dibujo y explicación.</p> <p>Estudiante: Lo mastico, se hace bolo alimenticio y pasa al intestino; se va al recto (enunciado 5 veces), lo desechamos por medio de las heces o excremento.</p>	<p>El estudiante menciona algunas entidades (bolo alimenticio, intestino, recto, heces) y reconoce la transformación sin aludir a los sistemas intervinientes.</p>	<p><u>Dimensión epistemológica (relación causa-efecto)</u> [En lo relativo a la ingesta calórica] Cuando el organismo necesita energía, el hígado transforma el glucógeno en glucosa, la cual se envía a la sangre hacia el corazón, que la impulsa por todo el cuerpo. Si la glucosa se llega a transformar en glucógeno, entonces un ser humano que supere su requerimiento energético podrá desarrollar obesidad (incluso si su dieta está libre de grasas).</p>	<p>Interrelacionar los sistemas circulatorio, digestivo, excretor para orientar la explicación del proceso alimenticio. [Epistemológica].</p>
	<p>Indicación: ¿Qué fue lo que le pasó a la figura 1 para llegar a ser la figura 2?</p> <p>Estudiante: Pues literalmente empezó a comer y comer, sin ningún orden y medidas de acuerdo, por ejemplo, al plato del buen comer y con eso pasó el tiempo y si se digirió la comida, pero sólo se almacenaba ahí todo el tiempo y nunca se desechó.</p>	<p>El estudiante reconoce la relación entre los alimentos consumidos, la ausencia de hábitos alimenticios saludables, la digestión y la eliminación de residuos, pero vincula la retención de estos residuos con el aumento de peso a lo largo del tiempo.</p>	<p><u>Dimensión epistemológica (relación causa-efecto)</u> [En lo relativo a la ingesta calórica] Cuando el organismo necesita energía, el hígado transforma el glucógeno en glucosa la cual se envía a la sangre hacia el corazón, que la impulsa por todo el cuerpo. Si la glucosa se llega a transformar en glucógeno, entonces un ser humano que supere su requerimiento energético podrá desarrollar obesidad (incluso si su dieta está libre de grasas).</p>	<p>Explicar la obesidad desde la relación entre ingesta y gasto calórico. [Epistemológica: relación causa-efecto].</p>

Instrumentos	Transcripción	MEI	MCEA (Tabla 1)	Demandas cognitivo-educativas de los estudiantes
	<p><i>Indicación:</i> De acuerdo a la respuesta anterior ¿Cómo explicas que fue eso posible?</p> <p><i>Estudiante:</i> Que hay una zona en el estómago en el que se almacenan energías para algún caso en el que se llegara a necesitar... llega un momento en el que toda la grasa/alimento que ingeste se guarda ahí (aunque no debiera), de tal manera que físicamente engordas y nunca llega el momento en el que se desecha o sale esa energía innecesaria en ese lugar/almacén.</p>	<p>El estudiante asume que la entidad "estómago" tiene la propiedad de "almacenar energías", lo cual está vinculado a la percepción visual y física del engrosamiento de la región abdominal en las personas que engordan porque esas "energías almacenadas" no salen o se eliminan.</p>	<p><u>Dimensión epistemológica (relación causa-efecto)</u> [En términos de ingesta calórica] Si los nutrientes digeridos ingresan en el sistema circulatorio por los capilares sanguíneos, entonces son transportados por la sangre hacia los vasos sanguíneos mayores. Si la sangre rica en nutrientes que proviene del intestino delgado circula hacia el hígado, entonces esta glándula transforma algunos nutrientes como la glucosa en glucógeno y la almacena. Si la glucosa se llega a transformar en glucógeno, entonces un ser humano que supere su requerimiento energético podrá desarrollar obesidad (incluso si su dieta está libre de grasas).</p>	<p>Reconocer que el aumento de peso tiene lugar luego de la absorción de nutrientes (no en una zona del estómago), que son transportados por el sistema circulatorio y que, si no se gastan, se almacenan en forma de grasa. [Ontológica y Epistemológica: relación causa-efecto].</p>
	<p><i>Indicación:</i> ¿Qué fue lo que le pasó a la figura 1 para llegar a ser la figura 2?</p> <p><i>Estudiante:</i> No comió saludable y comió muchas papas, dulces, etcétera.</p>	<p>El estudiante reconoce los efectos de la ingesta de comida poco saludable, pero no los relaciona con el gasto energético.</p>	<p><u>Dimensión epistemológica (relación causa-efecto)</u> [Gasto Energético] El consumo de alimentos ricos en azúcar como los dulces, helados, refrescos gaseosos con azúcar, panes y galletas dulces de todo tipo elevan los niveles de triglicéridos. Si un ser humano tiene un estilo de vida sedentario, entonces la cantidad suministrada de oxígeno no es suficiente para "quemar" las reservas de grasa [con lo que la obesidad se genera].</p>	<p>Identificar la obesidad desde el desequilibrio energético y así plantear la posibilidad de un gasto calórico. [Epistemológica: relación causa-efecto].</p>

Instrumentos	Transcripción	MEI	MCEA (Tabla 1)	Demandas cognitivo- educativas de los estudiantes
	<p><i>Indicación:</i> De acuerdo a la respuesta anterior ¿Cómo explicas que fue eso posible?</p> <p><i>Estudiante:</i> Todos los alimentos se fueron acumulando y ya no pudo salir y se le acumula en el cuerpo.</p>	<p>El estudiante asume que la entidad "alimento" tiene la propiedad de acumularse en el cuerpo.</p>	<p><i>Dimensión ontológica</i> [Ingesta calórica] Los nutrientes proporcionan la energía necesaria para el desarrollo de la actividad física y el mantenimiento de las funciones esenciales del cuerpo humano: carbohidratos, proteínas y grasas.</p>	<p>Reconocer los nutrientes básicos en los alimentos que se ingieren. [Ontológica].</p>

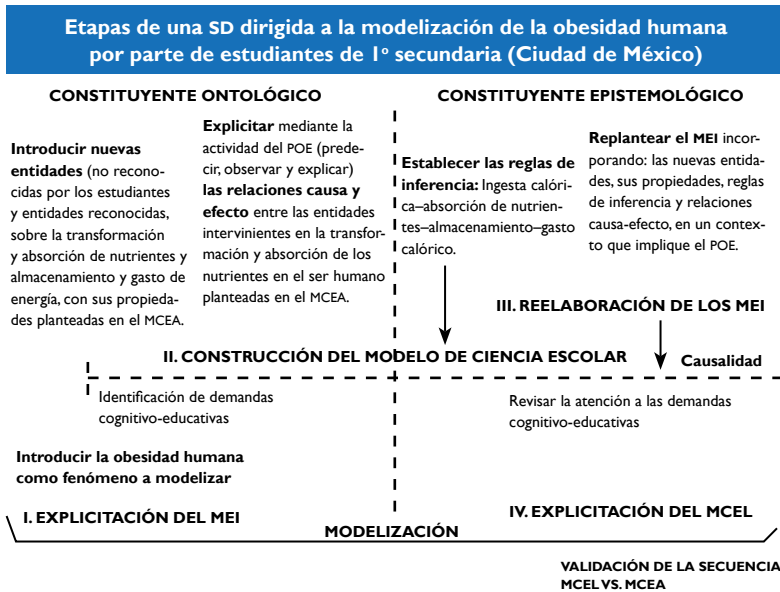
Fuente: Galvis Solano, 2019.

Después de visualizar la configuración del MCEA, organizado en los cuatro ámbitos del fenómeno, y las demandas cognitivoeducativas de los estudiantes donde se aplicará la secuencia, se derivan los criterios para el diseño de la SD. Estos criterios se ejemplifican en letras rojas en la figura 8 y en la tabla 3.

Secuencia didáctica (SD) para el caso de la obesidad humana con estudiantes de secundaria en México

La figura 8 muestra las etapas que puede seguir la secuencia a diseñar. En ella se han señalado en color rojo algunos de los criterios que aparecen incluidos en la tabla 3, con la finalidad de que el lector pueda observar la relación entre las etapas de la modelización y la planeación detallada de la SD.

Figura 8. Etapas para el diseño de la SD que promueva la modelización de la obesidad humana por parte de estudiantes de 1° de secundaria



A continuación, se presenta una muestra general del diseño de la SD que corresponde al fenómeno que se ha trabajado durante este capítulo: la obesidad humana para estudiantes de primero de secundaria en México.

Tabla 3. Diseño de la secuencia didáctica sobre el fenómeno de la obesidad humana para primero de secundaria en México

SD: ¿CÓMO OCURRE LA INGESTA CALÓRICA Y EL ALMACENAMIENTO O GASTO DE ENERGÍA EN MI CUERPO?					
Fenómeno de referencia: Obesidad humana		MCEA: Aproximación Homeostático-Energética (ingesta calórica y gasto energético) de la nutrición humana.			
Propósitos de la secuencia: Modelizar el fenómeno de la obesidad humana a partir de la construcción de modelos explicativos por los estudiantes de primero de secundaria en México. Alentar una explicación científica del fenómeno de la obesidad humana por estudiantes de primero de secundaria en México.		Asignatura: Ciencias I (Biología) Grado: Primero de secundaria Tiempo necesario para su desarrollo: 7.5 horas Núm. de sesiones: 10 sesiones (c/u 45 min)			
Aspecto del MCEA	Criterios de diseño		Objetivos de aprendizaje	Descripción de la actividad didáctica	Preguntas problematizadoras
	1. Precisar el Modelo Estudiantil Inicial (MEI) de la población donde se desarrollará la investigación-intervención.	Explicitar las demandas cognitivase-educativas que los estudiantes presentan para explicar el fenómeno de la obesidad humana.	Reconocer el uso de las entidades correspondientes a la explicación de la digestión en el cuerpo humano y de cómo ocurre el fenómeno de la obesidad en el ser humano.	Los estudiantes deben explicar qué le pasa a su cuerpo con los alimentos que consumen; así como explicar el aumento de peso en un ser humano.	¿Qué le pasa a nuestro cuerpo con los alimentos que consumo?
INGESTA CALÓRICA Transformación de los nutrientes y absorción de los nutrientes Constituyente ontológico	2. Definir las etapas para promover la modelización que corresponda con el MCEA, para explicar el fenómeno biológico de la obesidad humana. 3. Desarrollar secuencialmente la ingesta calórica; incorporando las entidades y respectivas propiedades necesarias, de acuerdo con lo planteado en el MCEA.	Introducir nuevas entidades (no reconocidas por los estudiantes en la sesión anterior) y entidades reconocidas sobre la transformación y absorción de los nutrientes con sus propiedades planteadas en el MCEA.	Identificar las entidades amilasa salival, jugo gástrico, bilis, jugo pancreático para la explicación de la transformación de los alimentos en nutrientes; y las entidades intestino delgado (duodeno, yeyuno, íleon) y las vellosidades intestinales para la explicación de la absorción de los nutrientes. Constituir las propiedades de las entidades identificadas para explicar la transformación y absorción de los nutrientes.	Los estudiantes ven un video para introducir las nuevas entidades, que luego les permite responder preguntas alusivas a la transformación de los alimentos en nutrientes; posteriormente leen la historia de una torta viajera en el cuerpo de Lorena, para que representen en un esquema el proceso digestivo desde la ingesta de alimentos, su transformación en nutrientes, hasta la absorción de los mismos.	¿Cómo se transforman los alimentos en nutrientes en nuestro cuerpo? ¿Cómo se absorben los nutrientes en nuestro cuerpo?

(continuación)

<p>INGESTA CALÓRICA Transformación de los nutrientes y absorción de los nutrientes Constituyente epistemológica</p>	<p>5. Promover el reconocimiento de propiedades principales. De la misma manera, las relaciones que están planteadas en el MCEA. 6. Introducir relaciones causa y efecto entre las entidades nutrientes, amilasa salival, jugo pancreático, bilis, después de los aspectos transformación y absorción de nutrientes, pero antes de pasar a los aspectos transporte de nutrientes y gasto o almacenamiento de energía.</p>	<p>Explicitar, mediante la actividad del POE (predecir, observar y explicar), las relaciones de causa y efecto entre las entidades intervinientes en la transformación y absorción de los nutrientes en el ser humano, planteadas en el MCEA en los dos primeros aspectos.</p>	<p>Identificar y reconocer –mediante el trabajo experimental en el aula– las relaciones de las entidades intervinientes en la transformación y absorción de los nutrientes en el ser humano.</p>	<p>Se realiza por equipos una actividad experimental, utilizando el método POE. Las dos actividades experimentales van direccionadas a la explicación de cómo se pueden transformar los alimentos con la amilasa salival y las grasas con la bilis (analogía de emulsificar con jabón líquido).</p>	<p>¿Cómo se pueden transformar los alimentos en nutrientes?</p>
<p>INGESTA CALÓRICA Transporte de los nutrientes GASTO ENERGÉTICO Almacenamiento y gasto de energía Constituyente ontológica</p>	<p>Criterio 2*. 4. Desarrollar secuencialmente la ingesta calórica y gasto energético; incorporando las entidades y respectivas propiedades necesarias, de acuerdo con lo planteado en el MCEA.</p>	<p>Introducir nuevas entidades del proceso de transporte de los nutrientes y almacenamiento y gasto de energía, con sus propiedades planteadas en el MCEA. Establecer las reglas de inferencia relativas a la relación: ingesta calórica-absorción de nutrientes-almacenamiento-gasto calórico.</p>	<p>Identificar las entidades sangre, vasos sanguíneos, corazón para la explicación del transporte de los nutrientes; y las entidades tejido adiposo, adipocitos, glucógeno, triglicéridos y oxígeno para la explicación del almacenamiento y gasto de energía. Constituir las propiedades de las entidades identificadas para explicar el transporte de los nutrientes y almacenamiento y gasto de energía.</p>	<p>Se les plantea a los estudiantes una noticia sobre cómo afecta el exceso de grasa a la circulación y al organismo si progresa volviéndose obesidad. Los estudiantes contestan preguntas para la introducción de entidades y propiedades correspondientes a los dos últimos aspectos del MCEA. Luego en otra actividad explican cómo ocurre el almacenamiento o gasto energético en un ser humano desde la interpretación de una gráfica.</p>	<p>¿Cómo se transportan los nutrientes en mi cuerpo? ¿Cómo se almacena y gasta la energía en mi cuerpo?</p>

* Indica que el criterio ya descrito se tiene en cuenta para esta parte del diseño.

(continuación)

<p>INGESTA CALÓRICA Transformación, absorción y transporte de los nutrientes</p> <p>GASTO ENERGÉTICO Almacenamiento y gasto de energía</p> <p>Constituyente epistemológica</p>	<p>Crterios 5 y 6*. 7. Establecer las reglas de inferencia planteadas en el MCEA.</p>	<p>Explicitar las relaciones de causa y efecto entre las entidades intervinientes en los cuatros aspectos planteados en el MCEA.</p> <p>Proponer las reglas de inferencia de los cuatro aspectos del MCEA. Replantear el MEI incorporando: las nuevas entidades, sus propiedades, reglas de inferencia y relaciones causa-efecto.</p>	<p>Reconocer las relaciones de causa y efecto entre las entidades intervinientes y las reglas de inferencia en los cuatros aspectos planteados en el MCEA.</p>	<p>Los estudiantes representan, mediante una maqueta, las relaciones de causa y efecto entre las entidades intervinientes en la transformación, absorción y transporte de los nutrientes, así como del almacenamiento y gasto energético en el ser humano, planteadas en el MCEA en los cuatro aspectos.</p>	<p>¿Por qué aumento de peso?</p>
	<p>8. Desarrollar al final de la secuencia didáctica, un registro de los modelos explicativos que los estudiantes utilizan para dar cuenta del fenómeno biológico de la obesidad humana.</p>	<p>Revisar el modelo explicativo construido por los estudiantes, a partir del planteamiento de una nueva situación referida con el fenómeno de la obesidad desde la perspectiva biológica. Revisar la atención a las demandas cognitivoeducativas en la explicitación de los MCEL.</p>	<p>Poner a prueba con los estudiantes el MCEA para la explicación del proceso de desnutrición.</p>	<p>Se les propone a los estudiantes una nueva situación sobre desnutrición, donde ponen a prueba su modelo construido para explicar cómo puede ocurrir este proceso en el ser humano.</p>	<p>¿Dietas adelgazantes? No gracias. ¿Obesidad? Tampoco.</p>

Fuente: Galvis Solano, 2019.

POTENCIALIDADES Y LÍMITES DEL MCEA

- Se constituye en un concepto clave para definir parte del conocimiento didáctico que el profesor pone en juego cuando se plantea la modelización en clase de ciencias.
- Visto así, el MCEA toma en consideración los elementos del contexto para determinar las particularidades de la SD, en tanto incorpora elementos culturales, sociológicos, antropológicos, entre otros.
- Desde esta óptica, el MCEA se conecta con la práctica del profesor en tanto constituye una herramienta (que surge en el mundo de la investigación), mediante la cual reflexiona sobre su enseñanza y toma decisiones para modificarla de acuerdo con las demandas cognitivoeducativas de los alumnos (propias del mundo real en el que el profesor ejerce la docencia).
- Pero el MCEA tiene límites. Uno de ellos es que, a pesar de que el MCE logrado sea próximo al MCEA, no se puede garantizar que el alumno transforme otros ámbitos de su vida en virtud del mismo. Por ejemplo, la escuela puede comprometerse a que sus alumnos tengan MCE logrados sobre el fenómeno de la obesidad, muy próximos al MCEA correspondiente basado en la nutrición; pero no a que estos alumnos cambien la cultura que promueve hábitos no saludables de vida que conducen a la obesidad. Sin lugar a dudas, es posible que dichos hábitos sean cuestionados por el alumno y en el mejor de los casos le ayuden a mediano o largo plazos a llevar una vida saludable. Sin embargo, la escuela no puede garantizar que esto ocurra porque hay otras variables en la vida del alumno sobre las cuales la escuela no tiene influencia.
- Entidades como los ministerios o secretarías de educación pueden adoptar los MCE como referentes para el currículo de ciencias, en tanto indican cuáles son las posibilidades de construcción de conocimientos de los alumnos para ese

nivel y grado. Pero el colectivo de profesores del área en cada institución educativa es el que tiene la responsabilidad de elaborar los MCEA –partiendo de la identificación de los fenómenos científicos de valor educativo y señalando las metas de aprendizaje–, así como de diseñar las secuencias didácticas correspondientes. La validación de las mismas (en tanto sus resultados muestren la proximidad de los modelos de los estudiantes al MCEA), propician que ese MCEA pase a ser parte del MCE en un proceso que se asume dinámico (véase capítulo 1), en tanto los cuerpos de conocimiento van cambiando por la diversidad de condiciones escolares.

REFERENCIAS

- Adúriz-Bravo, A. (2015). Pensamiento “basado en modelos” en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista del Instituto de Investigaciones en Educación*, año 6, (6), 20-31.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- García, M. P. (2005). Los modelos como organizadores del currículo en biología. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra. VII Congreso de Didáctica de las Ciencias.
- Galvis Solano, L. M. (2019). *Modelos científicos escolares logrados por estudiantes de secundaria sobre obesidad humana en un contexto didáctico* (Tesis de maestría). Universidad Pedagógica Nacional, Ciudad de México, México.
- Giraldo, J. A. (2017). *Demandas de aprendizaje en ciencias naturales de alumnos de 5º. y 8º.* (Tesis de licenciatura). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- 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, Francia: Elsevier.
- Gutiérrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencia conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: aproximaciones y alternativas. *Bio-grafía, escritos sobre la biología y su enseñanza*, 7(13), 37-67.
- Izquierdo, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las ciencias*, 23(1), 111-122.

- Izquierdo, 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, M. y Adúriz-Bravo, A. (2005). Los modelos teóricos para la enseñanza de ciencias naturales: Un ejemplo de química. *Enseñanza de las ciencias*, número extra. VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N., Espinet, M., García, M. P. y Pujol, R. M. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 79-92.
- Leach J. y Scott, P. (2000). *The concept of learning demand as a tool for designing teaching sequences*. Paper prepared for the meeting Research-based teaching sequences. Francia: Universidad de París VII.
- López Gordillo, M. M. *Modelización en clases de ciencias naturales: el caso de la obesidad humana* (Tesis doctoral en proceso). Universidad Pedagógica Nacional, Ciudad de México, México.
- 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-grafta*, 7(13), 109-126.
- 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.
- Millar, R. (2010). Using research to improve practice in science education: where should we begin, and what should we aim to produce? 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* (pp. 55-68). Utrecht: CD Beta Press.
- Park, S. y Oliver, J. (2008). Revisiting the conceptualization of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education* 38(3), 261-284.
- Scott P., Leach J. (2007). Students conceptions and conceptual learning in sciences. En S. K. Abell y N. G. Lederman (ed.), *Handbook of Research in Science Education* (pp. 31-56). [s. l.]: Erlbaum Publishers.
- SEP (2011). *Programas de Estudio Educación Básica Secundaria Ciencias*. México: SEP. Recuperado de https://data.miraquetemiro.org/sites/default/files/documentos/Primer_grado_Ciencias_I_2013_guia_maestro.pdf
- Shamah, T., Amaya, M. A. y Cuevas, L. (2012). Desnutrición y obesidad: Doble carga en México. *Revista Digital Universitaria*, 16(5). Recuperado de <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num5/art34/>

- Tamayo, Ó. E. (2001). *Evolución conceptual desde una perspectiva multidimensional. Aplicación al concepto de respiración* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Barcelona, España. Recuperado de <http://www.tdcat.cesca.es>
- Wallin, A. y West, E. (2013). Design and validation of teaching-learning sequences: Content-oriented theories about transmission of sound and biological evolution. En T. Plomp y N. Nieveen (eds.), *Educational design research. Part B: illustrative cases* (179-198). Enschede, Países Bajos: SLO.

CAPÍTULO 7

RESULTADOS DE SECUENCIA DIDÁCTICA PARA EL CASO DE LA OBESIDAD HUMANA¹

*María Mercedes López Gordillo**
*y Ángel Daniel López y Mota***

En este capítulo el lector encontrará un documento que pone a escrutinio una nueva visión para diseñar, organizar y desarrollar contenidos de enseñanza de ciencias naturales en el aula en forma de secuencia didáctica (SD), así como para validar sus resultados mediante el llamado Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA). El fundamento de este modelo y el procedimiento para su formulación han sido expuestos en el capítulo 1. En el capítulo 6 de esta obra, además de aplicar detalladamente este modelo, se ha presentado un ejercicio de elaboración de un MCEA y el diseño de una SD para primer grado de educación secundaria.

¹ El texto aquí mostrado tiene como base una tesis de doctorado: López Gordillo, M. Modelización en clases de Ciencias Naturales: el caso de la obesidad humana (en proceso). Ciudad de México: Universidad Pedagógica Nacional Nacional-Ajusco. Tesis dirigida por el Dr. Ángel Daniel López y Mota.

* Programa de Doctorado en Educación, Universidad Pedagógica Nacional-Ajusco, México, <mercy_sal@prodigy.net.mx>

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

A diferencia del capítulo anterior, en este capítulo se muestra el MCEA formulado para sexto grado de educación primaria; se ha tomado esta formulación como hipótesis directriz de lo que se supone debieron construir los estudiantes después de participar en el desarrollo de una SD orientada por una perspectiva de modelos y modelización. Con la elaboración de esta SD se promueve la explicación del fenómeno de la obesidad humana desde un enfoque biológico elemental, asociado con un balance energético positivo; su diseño estuvo orientado por el propio MCEA.

Los textos de este séptimo capítulo dan testimonio de la exploración de un ejercicio metodológico para el tratamiento de los datos obtenidos como resultado de la aplicación de la SD propuesta, que forma parte de una tesis doctoral en proceso (López Gordillo, 2019). Es decir, propone una ruta metodológica para construir, poner en perspectiva y analizar los datos. De ahí que el capítulo pretende ofrecer una visión centrada en el proceso metodológico que se siguió para el tratamiento de los datos y para esclarecer los resultados obtenidos. Hemos trasladado a la sección de anexos –al final de este capítulo– la información sustentatoria y ejemplificadora de lo expuesto en el texto principal para dar fluidez a su lectura.

Por razones de espacio presentamos solamente los datos de un caso ejemplar perteneciente a un subgrupo de la muestra de estudiantes participantes en el estudio, cuyos modelos construidos fueron denominados “modelos altos”, aunque completan la muestra los modelos llamados “intermedios” y “bajos”. Al hacerlo de esta manera no se pretende mostrar los que podrían considerarse los mejores resultados, sino lo que algunos alumnos –los ubicados en la categoría de “altos”–, son capaces de lograr; y así contar con un referente de logro en esta obra. Cabe decir que en la tesis citada se reportan las tres categorías mencionadas.

SECUENCIA DIDÁCTICA PARA LA MODELIZACIÓN DE LA OBESIDAD HUMANA

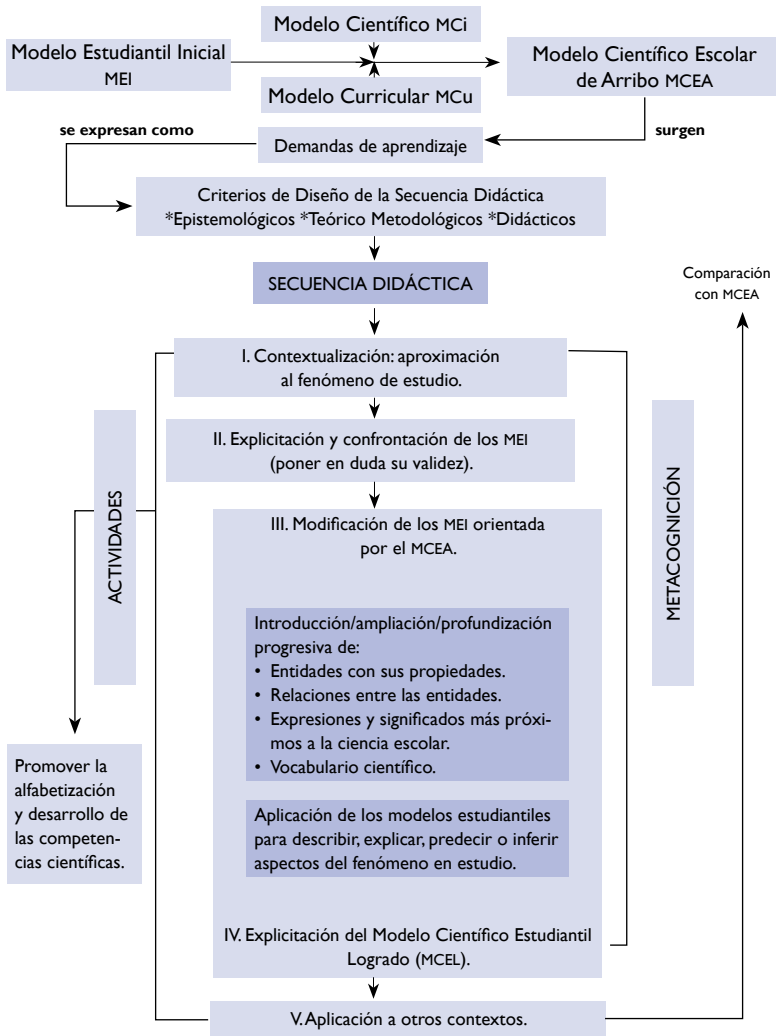
En el campo de la didáctica de las ciencias existen muy diversas propuestas de selección de contenido y secuenciación de actividades, dependiendo del marco teórico que las sustenten. Según Sanmartí (2000), dichas propuestas comparten algunos rasgos –todavía bastante generales–, entre los que destacan: actividades de iniciación, actividades para promover la evolución de los modelos iniciales, actividades de síntesis y de aplicación.

En este trabajo, la SD implica la organización de acciones orientadas a hacer posible una aproximación de los modelos estudiantiles iniciales (MEI) –previos a una secuencia didáctica– hacia el modelo que se pretende sea construido por los estudiantes al finalizar dicha secuencia. Este último, lo hemos conceptualizado como el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) (López y Mota y Rodríguez-Pineda, 2013; López y Mota y Moreno-Arcuri, 2014), abordado conceptualmente en el capítulo 1 y utilizado prácticamente en el capítulo 6.

Hemos considerado una secuenciación que comprende las etapas señaladas enseguida y la hemos esquematizado en la figura 1.

- I. Contextualización: aproximación al fenómeno de estudio.
- II. Explicitación y confrontación de los modelos estudiantiles iniciales.
- III. Reconstrucción de los modelos estudiantiles iniciales.
- IV. Explicitación del Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL).
- V. Aplicación del MCEL a otros contextos o fase de generalización.

Figura 1. Etapas de la secuencia didáctica



I. Contextualización: aproximación al fenómeno de estudio

Este apartado implica la introducción y ubicación de los estudiantes sobre y acerca del fenómeno mencionado. Pero, al mismo tiempo,

busca que los alumnos establezcan una relación entre su entorno cotidiano y el fenómeno natural² que se va a estudiar. En este caso: la obesidad humana.

II. Explicitación y confrontación de los modelos estudiantiles iniciales

En esta etapa se plantea un problema. Para este caso, estamos sugiriendo hacerlo a través de preguntas que conviertan el problema en un reto a resolver y, que éste sea un factor motivante para iniciar el proceso de indagación y construcción de conocimiento. Es una oportunidad para que el estudiante confronte sus nociones, tome conciencia de sus propias ideas y advierta que sus representaciones no son las únicas posibles. En la selección del problema o tipo de pregunta se toman en cuenta las ideas de los estudiantes en relación con el modelo que se pretende construir. Además del uso de preguntas específicas para indagar, se puede recurrir a la realización de dibujos, diagramas o esquemas que permitan, a través de diversos medios, hacer que los estudiantes hagan explícitos sus modelos iniciales.

La elaboración de predicciones también es una forma de conocer las ideas de las cuales parten los estudiantes y puede ser el punto de inicio para el proceso de construcción de conocimiento pretendido.

Durante la confrontación de ideas se les da a los estudiantes la oportunidad de preguntar, se les solicitan argumentaciones, aclaración de ideas y se les alienta a objetar, discrepar, razonar y recomendar para mejorar. Ello hace posible la conformación de consensos, la identificación de desacuerdos y la expresión de dudas, que son buenos indicadores para orientar la construcción deseada de conocimiento.

² La posición que aquí se adopta es que el fenómeno en cuestión, si bien multidimensional en su explicación, será restringido a sus aspectos nutricionales-energéticos –dentro de un marco biológico– para su tratamiento en el aula mediante una secuencia didáctica.

III. Reestructuración de los modelos estudiantiles iniciales

Es la etapa que comprende la introducción, ampliación y profundización progresiva de los elementos constitutivos del MCEA, así como la clarificación e introducción de nuevos términos propios del vocabulario científico correspondiente al fenómeno abordado. En esta fase, los estudiantes también van utilizando los elementos incorporados para hacer inferencias, plantearse nuevas preguntas, proponer formas de verificación de un hecho, etcétera. Además, se ponen a prueba las ideas de los estudiantes, se realizan actividades de experimentación, se construyen o utilizan analogías, en tanto que la observación, el análisis, la discusión y la construcción de explicaciones encuentran su punto más álgido en el proceso de modificación del modelo.

IV. Explicitación del Modelo Científico Escolar

Logrado (MCEL)

En esta etapa se busca crear las condiciones para que el alumno explicita lo que está aprendiendo y se haga consciente de ello. Es una actividad de recapitulación, donde el estudiante percibe cuáles son los cambios que está teniendo en su representación, a qué conclusiones ha llegado o qué nuevas formas de pensar ha construido. Es decir, son actividades en las que el propio alumno realiza ajustes personales a las explicaciones ofrecidas para dar cuenta del fenómeno y hace evidentes los conocimientos que antes no tenía y ahora posee, a través de su proceso constructivo personal de conocimiento. En esta etapa se pretende que cada estudiante dé cuenta de las reelaboraciones que ha tenido su Modelo Estudiantil Inicial. Por ello, el maestro debe proveer a los estudiantes de instrumentos y experiencias pertinentes para que estén en posibilidades de organizar coherentemente sus nuevas construcciones.

Al ser el proceso de síntesis algo muy personal, es preciso ofrecer apoyos oportunos para que cada alumno encuentre una forma propia de expresar sus conocimientos (Sanmartí, 2000). Sin embargo, es muy probable que los modelos estudiantiles construidos en esta etapa requieran ser contrastados con otros, que se procure su mejoramiento posterior y se valore su evolución.

V. Aplicación del Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL) a otros contextos o fase de generalización

En esta etapa se busca que los estudiantes transfieran las nuevas ideas y formas de explicar el fenómeno estudiado a nuevas situaciones más complejas que las iniciales. Es decir, que utilicen su MCEL para explicar otros fenómenos que resulten vinculatorios con el ya estudiado. En el caso que nos ocupa, hemos recurrido a plantear a los estudiantes un problema que consiste en explicar el fenómeno de la anorexia nerviosa o la bulimia desde un punto de vista biológico, explicado por un balance energético negativo; donde el gasto de energía supera la ingesta, es decir, cuando el valor energético de la ingesta a través de los alimentos es menor que el gasto energético total.

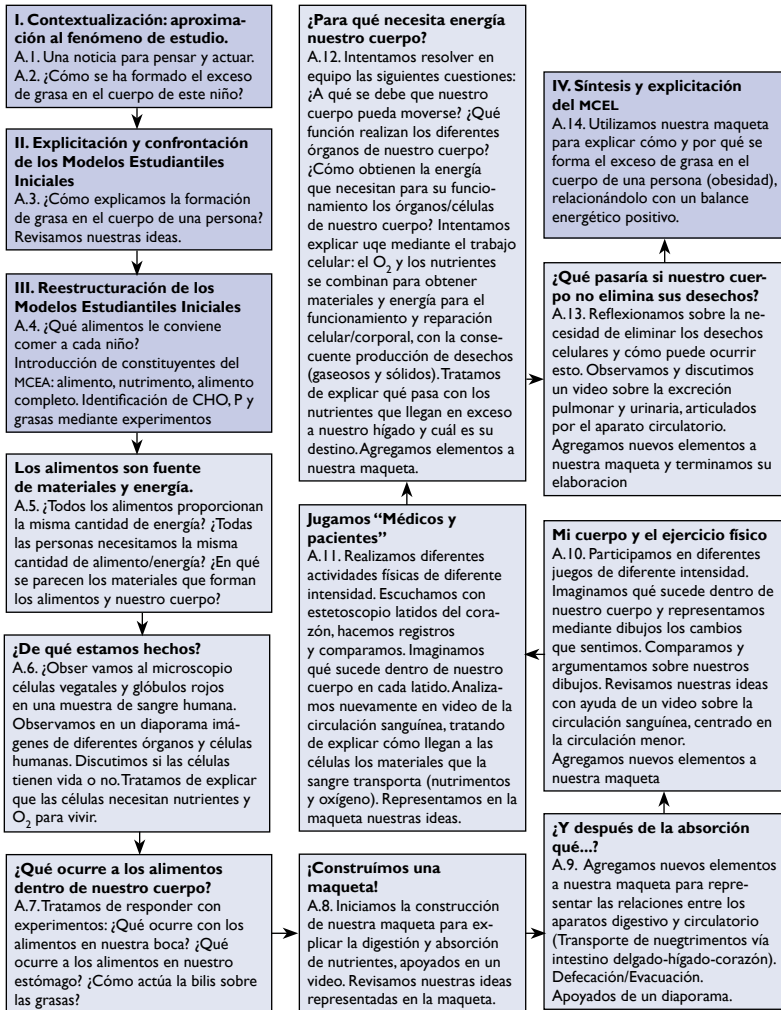
MODELOS LOGRADOS POR ESTUDIANTES FRENTE AL MCEA

Nuestro objetivo fue conocer si los estudiantes participantes en el estudio conseguían reconfigurar su Modelo Estudiantil Inicial y avanzar hacia un modelo más complejo perfilado *a priori*, al que hemos llamado Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA); entendido éste como el contenido científico escolar expresado en forma de modelo –con un referente fenoménico a explicar: la obesidad humana–, al cual aspiramos aproximar las explicaciones de los estudiantes al abordar en clase el fenómeno de referencia.

El ejercicio consistió en comparar el modelo que nos propusimos que debiera alcanzar el estudiante (MCEA), frente al Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL), entendido éste como la construcción descriptiva, explicativa y predictiva expresada por el estudiante mediante diferentes sistemas simbólicos, para dar cuenta del fenómeno estudiado, atribuible a una secuencia didáctica.

Para tal fin, se diseñó e implementó una SD fundamentada en el marco de la modelización. Su diseño estuvo orientado por el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA), enunciado en diez etapas o procesos. Los puntos de corte que distinguieron una etapa de otra se hicieron en función de los cambios más significativos en el comportamiento del sistema. Es decir, a partir de los procesos y transformaciones más representativos que hacen posible la nutrición del cuerpo humano y la acumulación de excedentes energéticos en forma de grasa corporal a partir de un balance energético positivo. Por razones de espacio no presentamos a detalle toda la SD, su esquema se muestra en la figura 2.

Figura 2. Esquema de la secuenciación de las actividades didácticas



Metodología

Se diseñó e implementó la SD esquematizada en el apartado anterior, basada en el marco de la modelización. Estuvo integrada por 14 sesiones que se llevaron a cabo en un periodo de cinco semanas (tres sesiones por semana y una sesión para recolectar información

gráfica y escrita), en una escuela urbana pública de la Ciudad de México. Participaron 25 estudiantes pertenecientes a un grupo de 6°. de primaria, con un promedio de 12 años de edad.

Durante la SD se utilizaron diferentes formatos para registrar la representación de las explicaciones dadas por los estudiantes; principalmente dibujos, textos y una entrevista con la técnica método *teachback*,³ adaptada a situaciones didácticas (Gutiérrez, 2017b). El análisis que se presenta en este capítulo se realizó a partir de la última actividad de la SD, en la que los estudiantes debían resolver un problema. El caso propuesto consistía en explicar cómo se forma el exceso de grasa en el cuerpo de una persona.

Los estudiantes utilizaron siluetas humanas con rasgos obesos para representar –mediante un dibujo– la acumulación de grasa corporal y explicarla mediante un texto; también se les pidió que anotaran los nombres de las entidades representadas en su dibujo.

La entrevista *teachback* estuvo conducida mediante un guion dividido en diez secciones (que se corresponden con los procesos del MCEA) que facilitó la organización y el tratamiento de datos, además, simplificó el análisis posterior. La entrevista nos permitió obtener datos de niveles más profundos que los proporcionados por los sujetos en un primer nivel de explicitación (Gutiérrez, 1994). Es decir, con la entrevista se pretendió dar al estudiante la oportunidad de explicitar con mayor detalle su conocimiento implícito y, de esta manera, poder “profundizar” en su pensamiento implícito y acercarnos más a lo que él o ella realmente pensaban.

Para la transcripción de entrevistas en un protocolo, se recurrió a una notación especial (véase Anexo 1), adaptada de Candela (2001) y se ha incluido el primer fragmento de uno de ellos como ejemplo (véase Anexo 2).

³ Consiste en una entrevista a profundidad donde se establece una conversación entre el entrevistador y el sujeto participante en el estudio, con el propósito de conocer sus ideas en un nivel más profundo, adaptada a situaciones didácticas. Para mayor referencia, el lector puede remitirse a los trabajos de Pask (1976) y Gutiérrez (1994, 2003, 2017b).

Como ya se refirió, el objetivo fue conocer qué modelos científicos escolares logrados (MCEL) habían conseguido construir los estudiantes una vez finalizada la SD, cuán cercanos eran éstos al MCEA y qué poder explicativo lograron alcanzar los MCEL para dar cuenta del fenómeno de la obesidad humana, desde una perspectiva biológica elemental vista como un balance energético positivo.

El modelo Onepsi y la unidad de análisis

La construcción de datos y su análisis posterior se realizó considerando el MCEL como unidad de análisis y sus diferentes constituyentes (entidades con propiedades, relaciones e inferencias generalizadas) como las categorías a ser analizadas.

Lo anterior tiene su sustento en el modelo Onepsi (ontología, epistemología, psicología),⁴ propuesto por Gutiérrez (2017a, 2017b, 2004), porque ofrece un marco teórico de referencia en el que confluyen la ontología, la epistemología y la psicología –‘motor’ en la búsqueda de explicaciones– en el proceso constructivo de una secuencia de enseñanza y aprendizaje, que en este trabajo igualmente ha sido fundamental tanto para llegar a enunciar el MCEA como eje articulador de la SD, como para analizar los MCEL de los estudiantes al término de la SD.

En consecuencia, la unidad de análisis es el Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL) de cada estudiante, el cual está conformado por tres constituyentes (véase López y Mota y Moreno-Arcuri, 2014), que son:

- a) *Entidades y propiedades* (ontología): son los constituyentes del modelo que poseen características o atributos que pueden cambiar por una acción causal. Por ejemplo, para el modelo de nutrición humana, los alimentos son entidades concretas que poseen propiedades esenciales –como la energía– o que están

⁴ Por lo que se refiere al elemento psicológico del modelo Onepsi, es importante aclarar que no es motivo de abordaje en este trabajo.

conformados por diferentes tipos de nutrientes –carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas, minerales y agua–. Esto es, los componentes ontológicos del modelo hacen referencia a las entidades del modelo con sus atributos o propiedades esenciales que las caracterizan.

- b) *Relaciones entre las entidades* (epistemología): se refiere a las interacciones que ocurren entre dos o más entidades que constituyen el sistema, pudiendo ejercer acciones causales unas sobre otras y, por tanto, producir cambios en las características de otras entidades. Estas interacciones o relaciones hacen referencia a la descripción funcional del sistema en estudio y a las relaciones causa-efecto que dan cuenta de las interacciones en el sistema. Es decir, se refieren a las interacciones que ocurren entre las entidades con propiedades que constituyen el sistema y los procesos que desencadenan ciertos procesos como consecuencia de las mismas. Por ejemplo, en el modelo de nutrición humana, la entidad saliva tiene la propiedad química de hidrolizar moléculas complejas de almidón en moléculas más simples, preparándolas para su absorción.
- c) *Inferencias generalizadas* (epistemología): son las inducciones que el estudiante logra formular a partir del reconocimiento de las interacciones entre las entidades y los procesos que se producen como consecuencia de ellas. Además, pueden lograr cierto grado de generalización –con una adecuada intervención didáctica– para terminar por transformarse en conceptos o leyes científicas en el ámbito de la ciencia escolar.

Las inferencias generalizadas llevan implícitas las funciones esenciales de los modelos científicos porque “explicar los fenómenos del mundo es justamente una de las operaciones o funciones esenciales de las que se ocupa la ciencia” (Concari, 2001, p. 85). Esta operación esencial guarda su equivalente con la ciencia escolar (Izquierdo, Espinet, García, Pujol y Sanmartí, 1999) porque en la clase de ciencias

se pretende que los estudiantes construyan modelos científicos escolares que les sirvan para explicar los hechos del mundo (García y Sanmartí, 2006) e intervenir en él. Por ello, consideramos imprescindible conocer –a partir de los constituyentes del modelo– en qué medida los MCEL de los estudiantes logran explicar el fenómeno de la obesidad.

Sin embargo, no sólo la explicación es considerada una de las funciones fundamentales de un modelo científico, también la predicción es inherente a su naturaleza (Gutiérrez, 2017b, 2014). Esto es, su capacidad de dar cuenta del comportamiento del sistema y de predecir comportamientos futuros.

Puesto que consideramos que la caracterización y funciones del modelo Onepsi son válidas para los ámbitos científico, escolar y de pensamiento espontáneo, hemos asumido que “un modelo científico es una representación de un sistema real o conjeturado, consistente en un conjunto de entidades con sus principales propiedades explicitadas, y un conjunto de enunciados legales que determinan el comportamiento de esas entidades” (Gutiérrez, 2014, p. 51).

Construcción de datos

En este apartado describimos el procedimiento seguido para obtener la versión sintetizada del MCEL de cada estudiante. Este proceso comprendió el tratamiento de los datos, desde su recuperación de las fuentes primarias hasta su construcción para el análisis.

La información proveniente de las distintas fuentes se organizó conforme a los diez procesos considerados en el MCEA, de acuerdo con los siguientes momentos:

- i. Se transcribieron fielmente los datos de cada una de las fuentes de información (dibujo, textos y entrevista), concentrándolos en una *Tabla de codificación*, siguiendo un orden sucesivo desde el primer proceso hasta el décimo, identificando todos los constituyentes del MCEL: entidades con propiedades, relaciones entre entidades e inferencias generalizadas.

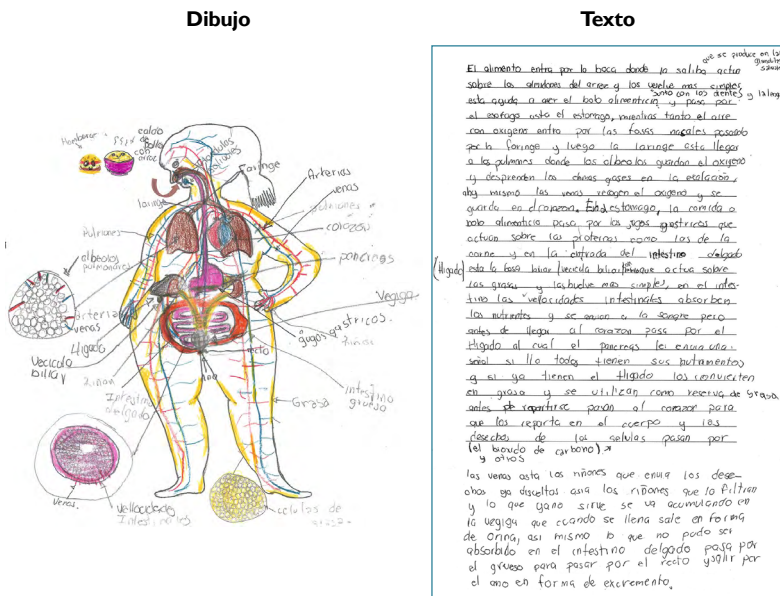
- Por razones de espacio solamente hemos incluido el tratamiento correspondiente al proceso 1. *Ingestión de alimentos* (Anexos 3a-3e).
- ii. En la *Tabla de codificación* se colocaron los datos en posición comparativa, donde a cada columna correspondía una fuente de datos y se especificaba el constituyente del MCEL del proceso en cuestión.
 - iii. Por triangulación de datos (Erickson, 2012), se obtuvo una síntesis por cada constituyente que –sin alterar el significado de lo expresado por el estudiante– se registró en la última columna (Anexo 3a-3d).
 - iv. Las síntesis obtenidas de cada constituyente del MCEL se concentraron para obtener el resumen del proceso en cuestión. El procedimiento detallado se ha ejemplificado para el proceso 1. *Ingestión de alimentos* (Anexo 3e).
 - v. Los procedimientos descritos desde el punto i hasta el iv se replicaron para los nueve procesos restantes, obteniéndose así la versión completa del MCEL, sintetizado en diez procesos (Anexos 4a-4b).
 - vi. Con el propósito de facilitar el manejo de los datos obtenidos sobre el MCEL, recurrimos a una nueva síntesis, que consistió en compactar el MCEL de diez a cinco procesos. Esta disminución permitió delinear fases más estratégicas para su análisis. La tabla 1 muestra los cinco procesos en que el MCEL quedó reducido.
 - vii. Una vez obtenidos los cinco resúmenes, se articularon en un solo escrito, lo que resultó en la síntesis global del MCEL en formato de texto de cada estudiante. Como ejemplo, mostramos en la tabla 2 el MCEL inferido de la estudiante 07-MLM en formato texto, que será el objeto de análisis en el apartado correspondiente.

Tabla 1. Procesos integrantes del MCEL de cada estudiante

Procesos del MCEL en formato texto
1. Transformación de alimentos en nutrientes: ingestión-digestión.
2. Absorción de nutrientes e incorporación de oxígeno a la sangre.
3. Distribución de nutrientes y oxígeno a los órganos/células.
4. Utilización de nutrientes y oxígeno por las células.
5. Formación y almacenamiento de grasa corporal asociado al gasto energético.

La figura 3 muestra el dibujo y un texto (el resto de los escritos de la estudiante 07-MLM fueron recuperados en los anexos del 5 al 11) como fuentes de información que, junto con la entrevista *teachback*, nos permitieron –siguiendo la ruta metodológica descrita– configurar en un texto el MCEL de los estudiantes de la muestra y, por ende, de la alumna.

Figura 3. Representaciones que explican cómo se forma el exceso de grasa en el cuerpo de una persona correspondiente al MCEL de la estudiante 07-MLM.



Crterios de análisis

El análisis de los datos, es decir de los MCEL en formato texto, se realizó a partir de la construcción de cuatro categorías de análisis, definidas *a priori* y que a continuación describimos:

- a) *Reconocimiento de las propiedades de los alimentos y sus funciones*, con este criterio se intenta valorar si en el modelo analizado se reconoce que los alimentos contienen diferentes tipos de nutrientes, los cuales realizan funciones específicas y cómo se vincula su consumo con la obesidad.
- b) *Grado de articulación de los procesos de nutrición humana*, con este criterio se pretende valorar si en el modelo se articulan los aparatos⁵ digestivo, circulatorio y respiratorio para explicar la nutrición humana (Banet, 2008), y si se logra describir desde una perspectiva sistémica (Cañal, 2008; Pujol, Bonil y Márquez, 2006; Rivadulla, 2013) la acumulación de grasa corporal y la formación y eliminación de desechos celulares.

Prestaremos especial interés a las entidades y relaciones donde ocurre la articulación entre aparatos. Las relaciones están señaladas a continuación y se han representado en la figura 4.

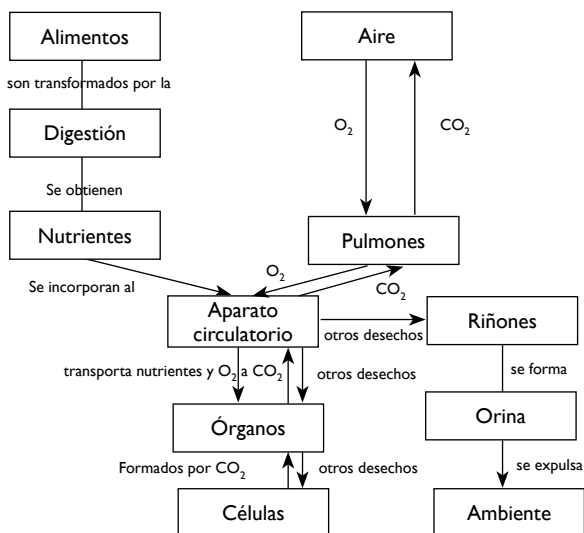
- Digestión-absorción-circulación.
 - Respiración-circulación (hematosis).
 - Circulación-excreción (urinaria).
-
- c) *Identificación de las relaciones entre célula-nutrientes-oxígeno-producción y eliminación de desechos celulares*, con este criterio se pretende juzgar si en el modelo se reconoce

⁵ Utilizamos el concepto aparato y no sistema, atendiendo a la diferencia clave entre ambos. Aparato es un concepto más global y amplio desde el punto de vista anatómico, el cual agrupa las partes y órganos que ejecutan una única función fisiológica específica. En cambio, el concepto de sistema se centra y delimita a un conjunto de órganos y partes anatómicas que realizan una misma función, pero además está constituido por un mismo y único tejido (Cubero, Costillo, Calderón y Ruiz, 2012).

elementalmente la interacción entre nutrientes y oxígeno en órganos/células, que resulta en la transformación de unas sustancias en otras completamente diferentes, con la consecuente liberación de energía, la formación de materiales indispensables para el adecuado funcionamiento corporal y el reconocimiento de que los desechos celulares también son resultado de las diferentes transformaciones.

- d) *Reconocimiento de la relación ingesta-gasto energético con la obesidad*, con este criterio se pretende valorar si en el modelo analizado se establecen relaciones de causalidad entre la ingesta-gasto energético con la obesidad.

Figura 4. Modelo relacionado sobre los procesos de nutrición



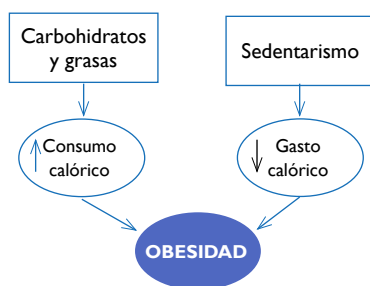
Fuente: adaptado de Banet, 2008, p. 40.⁶

Vale la pena decir que, si bien la obesidad es un fenómeno multifactorial, en este trabajo, la hemos delimitado al desajuste en la

⁶ Esta representación se presenta desglosada en otros apartados del trabajo como parte de las figuras 14, 15 y 16.

homeostasis energética (Piñeiro, 2015), condicionado por un trastorno en el control del balance entre la energía ingerida y la energía consumida en los procesos metabólicos (Piñeiro, 2015; Salazar, B., Salazar, M. y Pérez, 2015; Staines, Chacón, Saldívar y Solórzano, 2013 y Peña, 2001). La figura 5 muestra las relaciones esperadas en el MCEA.

Figura 5. Relación ingesta-gasto



Fuente: Staines *et al.*, 2013, p. 23.

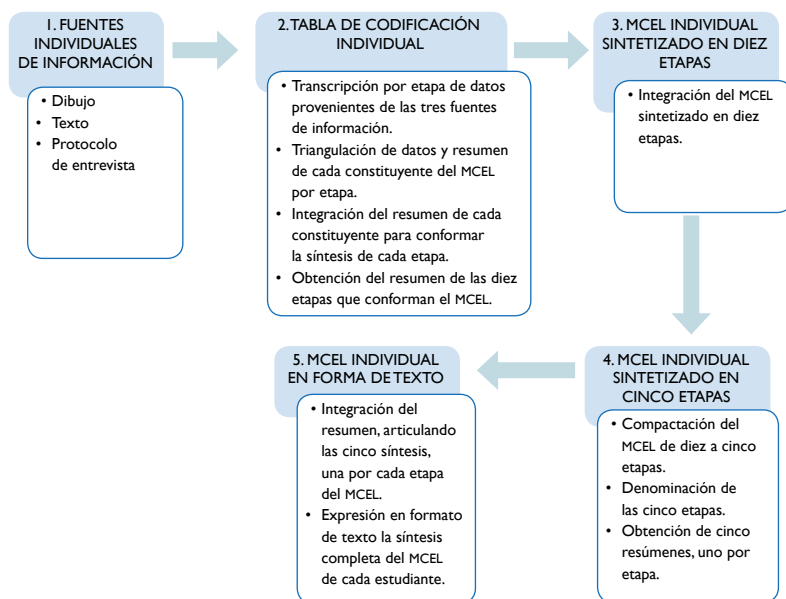
Validación de los resultados

Como ya se mencionó, la validación de resultados se realizó por triangulación de datos a partir de las tres fuentes de información mencionadas (dibujo, texto y entrevista). Se asumió el criterio de dar por admitido el dato si éste estaba presente en dos de las tres fuentes mencionadas, privilegiando la entrevista y el dibujo, pues según Delval (2009), el dibujo tiene un innegable componente cognitivo que refleja muy bien la comprensión que el niño –de esta edad– tiene de la realidad, su representación espacial y cómo concibe las cosas. Por tanto, los dibujos constituyeron una herramienta muy útil para que los estudiantes representaran sus ideas sobre el objeto de estudio.

Ahora bien, es importante advertir que el MCEL expresado en forma de texto (tabla 2) está rigurosamente sustentado en el MCEL resumido en 10 etapas (véase anexos 4a y 4b).

En síntesis, la ruta metodológica que nos trazamos para la construcción del dato nos permitió obtener la versión sintetizada del MCEL de cada estudiante en formato de texto; proceso que ha sido ilustrado en la figura 6. Como ejemplo, mostramos en la tabla 2 el MCEL inferido de la estudiante 07-MLM, en formato texto, que será objeto de escrutinio en el siguiente apartado.

Figura 6. Ruta metodológica seguida para la construcción de datos, desde las fuentes originales de información hasta obtener la versión completa del MCEL de cada estudiante en formato texto



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Antes de presentar esta sección, conviene recordar que en el apartado de “Metodología” se establecieron cuatro criterios de análisis para examinar el Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL) de cada estudiante, configurado en formato de texto a partir de la triangulación de datos procedentes de tres fuentes de información (dibujo, texto y entrevista).

Este apartado comprende dos secciones. La primera consiste en un análisis comparativo entre el MCEL o inferido de las evidencias provenientes de la estudiante (véase tabla 2) y el modelo esperado –formulado *a priori*– identificado como Modelo Científico Escolar de Arribo, MCEA (véase tabla 3). El propósito es dar cuenta del grado de similitud o discrepancia que hay entre ambos modelos –atribuido al efecto de la SD en los estudiantes–, por lo que hemos tomado como punto de comparación los cinco procesos integrantes de ambos modelos, mencionados en la tabla 1 y que a continuación recuperamos:

- Transformación de alimentos en nutrientes: ingestión-digestión.
- Absorción de nutrientes e incorporación de oxígeno a la sangre.
- Distribución de nutrientes y oxígeno a los órganos/células.
- Utilización de nutrientes y oxígeno por las células.
- Formación y almacenamiento de grasa corporal asociado al gasto energético.

La segunda sección consiste en valorar el MCEL, a partir de la aplicación de los cuatro criterios analíticos ya referidos, que nos permita reconocer qué explica o deja de explicar del fenómeno en cuestión, el modelo analizado. Solamente para que el lector tenga presentes, los hemos reproducido a continuación:

- a) Reconocimiento de las propiedades de los alimentos y sus funciones.
- b) Grado de articulación de los procesos de nutrición humana.
- c) Identificación de las relaciones entre célula-nutrientes-oxígeno-producción y eliminación de desechos celulares.
- d) Reconocimiento de la relación ingesta-gasto energético con la obesidad.

De igual manera, vale la pena aclarar que en este capítulo no presentamos el resultado de toda la muestra de estudiantes, sino que

nos centraremos en el análisis detallado de un caso, que corresponde al MCEL de la estudiante 07-MLM,⁷ al cual nos hemos venido refiriendo como ejemplo; ello con el propósito de destacar la construcción metodológica del caso en cuestión y la presentación de sus resultados –objetivos de análisis ya mencionados–, para en posterior ocasión presentar resultados de todos los integrantes del grupo de estudiantes –incluidos los resultados como medida de logro del MCEA por el grupo.

Comparación de los modelos: MCEL *versus* MCEA

En el modelo analizado se identificaron términos como “ayudan”, “reguladores”, “procesados”, “simplificar”, “hidrata” –entre otros– y que están presentes en la tabla 2. Si bien algunos de ellos aluden a constituyentes de los modelos en cuestión, han sido entrecomillados en este análisis porque no se ofrece una clara explicitación de su significado –ya fuera porque la estudiante había alcanzado el *límite de sus explicaciones*⁸ o porque durante la entrevista los intentos para ampliar o precisar la explicación no fueron suficientes– dando lugar a ambigüedad al momento de ser interpretados.

Para facilitar la comparación entre los modelos, hemos seguido el orden de los cinco procesos establecidos en ambos constructos, respetando la estructura del ejemplo en el texto y presentado en formato de tablas.

⁷ De aquí en adelante, y mientras no señalemos lo contrario, siempre que hablemos del modelo analizado en este apartado, nos referiremos al Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL) de la estudiante identificada como 07-MLM, el cual ha sido tomado como ejemplo.

⁸ Llamamos *límite de las explicaciones* de la estudiante al punto de la entrevista en que ésta ya no ofreció más datos, ya sea porque afirmaba que no sabía más o porque los datos que ofrecía empezaban a ser repetitivos. En el primer caso fue la estudiante quien marcó el límite; en el segundo caso, el límite lo juzgó y estableció la entrevistadora.

Ejemplo:

Proceso 1. Transformación de alimentos en nutrientes: ingestión-digestión

- Comparación entre los sistemas ontológicos: MCEL *versus* MCEA.
- Comparación entre la dimensión epistemológica (relaciones causa-efecto): MCEL *versus* MCEA.
- Comparación entre la dimensión epistemológica (inferencias generalizadas): MCEL *versus* MCEA.

Comenzamos presentando una síntesis de los modelos a ser comparados (tablas 2 y 3), en el que por cuestiones de espacio no hemos explicitado todas las propiedades de las entidades que son parte del sistema ontológico. Sin embargo, las hemos incorporado en el análisis comparativo.

Tabla 2. Síntesis del Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL construido por la estudiante 07-MLM para explicar la obesidad humana (no se incluyen todas las propiedades de las entidades)

Modelo Científico Escolar Logrado (MCEL) de la estudiante 07-MLM para explicar la obesidad humana

1. Transformación de alimentos en nutrientes: ingestión-digestión. Este modelo se caracteriza por reconocer que el ser humano es un ser vivo, formado de células, que son partes muy pequeñas y están en todo el cuerpo. Reconoce que las células están formadas por nutrientes. Asimismo, que los alimentos están formados por células animales o vegetales. Se identifican dos grupos de nutrientes en los alimentos: *a)* complejos (carbohidratos, proteínas, grasas o lípidos), “conformados por varios” requieren ser “procesados” por el cuerpo para ser absorbidos en el intestino, de lo contrario serían un desecho corporal y *b)* nutrientes simples (vitaminas, minerales y agua) que no requieren ser procesados para su absorción. También se identifica que los alimentos entran por la boca para ser consumidos. Se reconoce que el cuerpo necesita consumir alimentos para nutrirse. Igualmente se especifica que, a través de los alimentos, el cuerpo obtiene nutrientes como carbohidratos y grasas que le proporcionan energía para funcionar adecuadamente, y que alimentos como la carne le proporcionan proteínas que forman músculos, le “ayudan” a crecer, reparar heridas, formar nuevas células para sustituir a aquellas que mueren y se reservan en todos los órganos. Se señala que la grasa también transporta o libera vitaminas, evitando que queden estancadas [en la sangre]. El calcio “ayuda” a los huesos, mientras que el agua “hidrata” el cuerpo y con ello recupera el agua perdida, también transporta nutrientes a sangre y células y, algo más. Nutrientes simples (vitaminas y minerales), con excepción del agua, son “reguladores” y “ayudan” a carbohidratos, proteínas y grasas a desempeñar sus funciones.

Se distingue que en la boca, los alimentos son masticados por los dientes, que, junto con la lengua y la saliva producida por las glándulas salivales, “ayudan” a formar el bolo alimenticio. Se describe que la saliva actúa sobre los carbohidratos “simplificándolos”, después pasan al esófago que tiene forma de tubo para que pueda pasar la comida al estómago, ahí los jugos gástricos actúan sobre las proteínas para volverlas más simples; después pasa al intestino delgado que tiene forma de tubo para que pueda transitar la comida, ahí la bilis actúa sobre las grasas para “volverlas más simples”. Se identifica que la saliva, el jugo gástrico y la bilis ayudan a “simplificar” los distintos nutrimentos para que puedan ser absorbidos. Se reconoce que si los alimentos no se hacen “simples”, entonces serían un desecho para el cuerpo.

• *En el modelo se infiere que [sí] una niña todos los días durante un año consume demasiada grasa y come de más –no sólo grasa– y no hace ejercicio, [entonces] estará obesa.*

2. Absorción de nutrientes e incorporación de oxígeno a la sangre. En el modelo se especifica que es en el intestino delgado donde las vellosidades intestinales absorben los nutrientes y que entran a la sangre a través de las arterias y venas que atraviesan las delgadas vellosidades intestinales. También se señala que los restos no absorbidos pasan por el intestino grueso y el recto para salir en forma de excremento por el ano. En el modelo se describe la ruta que siguen los nutrientes una vez absorbidos desde el intestino delgado hasta el hígado, a través de las venas que son huecas (en forma de tubo), antes de llegar al lado derecho del corazón que tiene sangre sin oxígeno/baja en oxígeno. En el modelo, se identifican los conductos respiratorios superiores como

vías (conductos) que permiten el paso del aire con oxígeno desde el exterior hacia el interior. También se describe cómo el aire con oxígeno entra por las fosas nasales, enseguida pasa por la faringe y luego entra a la laringe y sigue por otros tubos hasta llegar a los alvéolos pulmonares que “guardan” el oxígeno, ahí las venas lo “recogen” y pasa a la sangre que llega al lado izquierdo del corazón, que tiene sangre con oxígeno y nutrientes. En el modelo se presenta el recorrido que hace la sangre —a través de venas— proveniente del hígado, cargada de nutrientes llega al lado derecho del corazón que tiene sangre sin oxígeno/baja en oxígeno, y después pasará por venas hasta llegar a los pulmones donde están los alvéolos pulmonares que “guardan” el oxígeno, de ahí, las venas lo recogen y pasa a la sangre para regresar al otro lado del corazón [izquierdo].

3. Distribución de nutrientes y oxígeno a órganos/células. Se reconoce que el corazón es hueco y está dividido internamente en dos partes, una izquierda que tiene sangre con oxígeno y otra derecha que tiene sangre sin oxígeno/baja en oxígeno. Se describe que la sangre que regresa de los pulmones trae consigo nutrientes y oxígeno y llega al [lado izquierdo] corazón que tiene sangre oxigenada. En el modelo se reconoce que cuando el corazón palpita, empuja esa sangre oxigenada y con nutrientes, mientras que las arterias la “atraen”/“la jalan”, haciéndola pasar a través de ellas. En el modelo se explica que la sangre que corre por las arterias se aleja del corazón porque va distribuyendo nutrientes, agua y oxígeno a los músculos, órganos y células.

- *En el modelo se infiere que [si se examina] una muestra de sangre humana, [entonces] se pueden encontrar nutrientes como minerales, vitaminas, agua, grasas, proteínas, agua y oxígeno porque la sangre los transporta a todo el cuerpo, a través de arterias.*
- *[Si] la sangre de una persona tiene demasiada grasa, [entonces] es probable que tenga sobrepeso u obesidad, y tiene riesgo de que la grasa tape una arteria y no pueda pasar sangre.*

4. Utilización de nutrientes y oxígeno por las células. En el modelo se especifica que nutrientes, agua y oxígeno son transportados por la sangre hasta las células del cuerpo y, una vez que están en ellas, el oxígeno libera la energía de los nutrientes, para que los órganos puedan funcionar. En el modelo también se explica que, una vez utilizados los nutrientes, las células producen desechos como el bióxido de carbono que es un gas y otros que son líquidos y sólidos. El modelo especifica que la sangre de las venas (que tiene poco oxígeno) en su regreso al corazón va recolectando bióxido de carbono y desechos líquidos y sólidos, que al pasar por los alvéolos pulmonares recoge oxígeno y libera bióxido de carbono y otros gases por exhalación a través de la nariz; el resto de los desechos celulares pasan por las venas ya disueltos en la sangre hasta los riñones, que son los que “filtran” el agua que sirve al cuerpo para devolverla a la sangre y la que ya no sirve, formará la orina, que será transportada por dos conductos (uno que sale de cada riñón) hasta la vejiga, donde se va acumulando y cuando ésta se llena de orina se siente la necesidad de orinar y es expulsada por la uretra, que es un orificio.

- *En el modelo se infiere que [si] una persona hace ejercicio los músculos gastan más energía, [entonces] tiene que respirar más rápido para que entre más oxígeno a la sangre y libere la energía en las células que contienen nutrientes.*
- *[Si] una persona hace ejercicio, [entonces] el corazón late más rápido porque tiene que enviar más sangre con oxígeno a los lugares que [están] gastando más energía y también traerá a los pulmones los desechos celulares como el bióxido de carbono para expulsarlo mediante la exhalación.*

- [Si se estudia] la orina de una persona, [entonces] es posible encontrar desechos celulares disueltos en agua, provenientes de los nutrientes, además de aquellos que no se aprovecharon.

5. Formación y almacenamiento de grasa corporal asociado al gasto energético. En el modelo se describe el paso de los nutrientes del intestino delgado hasta el hígado, a través de las venas antes de llegar al lado derecho del corazón. También se reconoce que cuando todos los órganos/partes del cuerpo han recibido la cantidad de nutrientes necesarios, el páncreas produce una sustancia que envía al hígado a través de la sangre, esto hace que todos los nutrientes que lleguen en exceso (incluyendo vitaminas, minerales, carbohidratos y proteínas), el hígado los transforme en grasa. Esa grasa es transportada por la sangre a diferentes partes del cuerpo, donde se encuentran células especiales que almacenan grasa en su interior como reserva de energía.

- En el modelo se infiere que [si] un niño consume cotidianamente más alimentos de los que su cuerpo requiere para funcionar, usará sólo los nutrientes necesarios, [entonces] el hígado –con participación del páncreas– transformará en grasa los nutrientes que estén en exceso y si su actividad física es escasa o nula, después de un tiempo padecerá obesidad.
- [Si] una persona obesa consume más alimentos de los que utiliza y el ejercicio físico es insuficiente, [entonces] se mantendrá obesa.
- [Si] una persona obesa desea bajar de peso, [entonces] deberá hacer suficiente ejercicio para usar sus reservas de grasa como energía, consumir una dieta ‘balanceada’ que contenga carne y verduras porque [estas últimas] contienen muy poca grasa.
- [Si se examina] la sangre de una persona se puede detectar si tiene sida o VPH u otros problemas como la anorexia o bulimia, [entonces en tal caso] tendrá pocos nutrimentos como agua, minerales, vitaminas, proteínas, carbohidratos y grasas.

Tabla 3. Síntesis del Modelo Científico Escolar de Arribo postulado *a priori* para explicar la obesidad humana (no se incluyen todas las propiedades de las entidades)

Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) postulado *a priori* para explicar la obesidad

1. Transformación de alimentos en nutrientes: ingestión-digestión. Este modelo se caracteriza por reconocer que el ser humano es un ser vivo formado por distintos órganos, constituidos por numerosas y pequeñas unidades vivas llamadas células. Distingue que la función de nutrición se realiza en las células. Identifica los alimentos como materiales comestibles compuestos por nutrientes complejos y simples; son complejos: carbohidratos, proteínas y grasas. Destaca que para hacer posible el aprovechamiento de los alimentos, éstos requieren ser transformados por el cuerpo en otras sustancias completamente diferentes, que tienen la propiedad de formar y reparar células; es decir, transformarse en el propio cuerpo, y en cuyo proceso se libera energía para su funcionamiento. Reconoce la formación de desechos como consecuencia de esas transformaciones. Identifica como nutrientes simples a las vitaminas, los minerales y el agua, que no requieren ser simplificados para su aprovechamiento y carecen de energía; vitaminas y minerales mantienen el buen funcionamiento del cuerpo y contribuyen a la formación de huesos y composición de la sangre, el agua facilita la digestión, absorción, transporte y eliminación de desechos y es componente mayoritario del cuerpo.

El modelo presenta la ingestión como incorporación de alimentos a través de la boca y se especifica que la transformación de alimentos en nutrientes complejos a simples (digestión) ocurre en el aparato digestivo; descrito como un tubo abierto y continuo que comienza en la boca y termina en el ano (se distinguen diferentes entidades: boca, faringe, esófago, estómago, intestino delgado, intestino grueso, recto y ano); al que se unen glándulas salivales, hígado y páncreas. Se distingue la acción simplificadora de la saliva sobre carbohidratos, los jugos gástricos sobre proteínas y la bilis sobre grasas; así como de los jugos pancreáticos e intestinales que terminan la simplificación a nutrientes más simples para que puedan ser absorbidos. También señala que los materiales restantes —resultado de las diferentes transformaciones— que no fueron utilizados son eliminados como heces.

2. Absorción de nutrientes e incorporación de oxígeno a la sangre. En este modelo se describe el intestino delgado como un conducto continuo con numerosas vellosidades en sus paredes que tienen dentro venas y arterias pequeñísimas. Se reconoce que los nutrientes atraviesan las paredes de las vellosidades y de las venas, incorporándose a la sangre (absorción), que los transporta a través de las venas desde el intestino delgado hasta el hígado, para luego entrar al lado derecho del corazón cuando éste se expande.

En el modelo se identifica que el aire con oxígeno entra por la nariz y baja por los conductos respiratorios al interior de los pulmones, haciendo que el aire inhalado llegue a los alvéolos pulmonares. Se detalla que cuando el corazón se contrae, la sangre del lado derecho del corazón (rica en nutrientes y pobre en oxígeno) es empujada/bombada a través de una arteria que se divide en dos ramas, entrando una a cada pulmón, hasta llegar a los conductos sanguíneos que envuelven los alvéolos, entonces parte del oxígeno contenido en el aire del alvéolo atraviesa tanto al alvéolo como al conducto sanguíneo que lo envuelve y entra a la sangre; quedando así oxigenada.

3. Distribución de nutrientes y oxígeno a órganos/células. En el modelo se explica que, al expandirse el corazón, la sangre regresa de los pulmones ya oxigenada y aún cargada de nutrientes –a través de venas– al lado izquierdo del corazón. Se reconoce que, al contraerse, el corazón actúa sobre la sangre contenida en su lado izquierdo, empujándola/bombeándola, a través de las arterias, así nutrientes y oxígeno son transportados a todas las células/órganos, entonces parte de ellos atraviesan las arterias y las células; como resultado, todas las células reciben en su interior nutrientes y oxígeno.

- En el modelo se infiere que [sí] la sangre transporta nutrientes y oxígeno. [entonces] una muestra de sangre da información sobre el oxígeno y tipo de nutrientes presentes en la sangre de una persona, en un momento determinado.
- [Si] la sangre transporta grasa. [entonces] la sangre de una persona puede dar información sobre el riesgo de sufrir alguna enfermedad relacionada con el exceso de grasa en sangre.

4. Utilización de nutrientes y oxígeno por órganos/células. En el modelo se describe que, dentro de cada célula ocurre la transformación de unas sustancias (nutrientes) –con involucramiento del oxígeno– en otras completamente diferentes, que tienen la propiedad de formar y reparar células, en cuyo proceso se libera energía para su funcionamiento. Se distingue que, como resultado de esta transformación, las células/órganos forman y liberan como desechos bióxido de carbono (CO_2), agua y restos no gaseosos; que al salir de la célula/órgano atraviesan las venas incorporándose a la sangre –pobre en oxígeno– en su regreso al lado derecho del corazón. Se describe cómo –al contraerse– el corazón empuja/bombea la sangre a través de una arteria que se divide en dos ramas para entrar a cada pulmón hasta llegar a los vasos sanguíneos que envuelven los alvéolos pulmonares, entonces el CO_2 atraviesa primero las paredes de los vasos sanguíneos que los envuelven y luego las paredes de los alvéolos, mezclándose con el aire que ahí se encuentra, iniciando su recorrido ascendente a través de las vías respiratorias hasta la nariz y la boca, donde el aire con CO_2 es eliminado al exterior en cada exhalación. Se identifica que, en su paso por los riñones, la sangre circula dentro de ellos, desprendiendo desechos no gaseosos y agua, formándose la orina, que sale por dos conductos –uno de cada riñón–, transportando la orina hasta la vejiga que se comunica con un conducto para expulsarla al exterior por un orificio.

- En el modelo se infiere que [sí] la sangre transporta nutrientes y oxígeno a las células/órganos necesarios para obtener energía. [entonces] una persona que hace ejercicio físico necesita recibir mayor flujo de sangre en sus músculos.
- [Si] los nutrientes se transforman en energía por acción del oxígeno. [entonces] durante el ejercicio físico, los latidos del corazón y la frecuencia respiratoria de una persona aumentan porque se envía mayor flujo de sangre para cubrir rápidamente las necesidades de más oxígeno y obtener de los nutrientes la energía que los músculos necesitan en grandes cantidades.
- [Si] la transformación de nutrientes en energía por acción del oxígeno produce desechos como el CO_2 , [entonces] durante el ejercicio físico, el corazón late más rápido y las exhalaciones aumentan para eliminar el CO_2 producido por los músculos/células en mayor cantidad a lo habitual.
- [Si se estudia] la orina de una persona, [entonces] se pueden encontrar desechos celulares disueltos, provenientes de la transformación de los nutrientes.

5. Formación y almacenamiento de grasa corporal asociado al gasto energético. En el modelo se reconoce que los nutrientes absorbidos en el intestino son transportados por la sangre a través de venas hasta el hígado, resultando una alta

concentración de nutrientes en este órgano y en la sangre, que una vez dentro de las células/órganos son utilizados para satisfacer las necesidades energéticas inmediatas del organismo. Se distingue que, si la ingesta energética supera el gasto, el excedente de nutrientes –proveniente de carbohidratos y proteínas– el hígado lo transforma en grasa. Se distingue que la nueva grasa junto con el exceso de grasa circulante es transportada y almacenada dentro de células especiales ubicadas en todo el cuerpo como reserva energética. Si se da este desajuste en el control del balance entre la energía ingerida y la energía consumida ocurre un balance energético positivo –que de mantenerse durante largo tiempo por muy pequeño que éste sea– se produce la obesidad. Se distingue que la grasa almacenada es fuente energética durante la actividad física constante.

- En el modelo se infiere que, si una persona ingiere por tiempo prolongado alimentos altos en grasa y tiene hábitos sedentarios, entonces probablemente desarrollará obesidad.
- Si el hígado –en coordinación con el páncreas– transforma en grasa los azúcares y las proteínas consumidos en exceso, entonces un niño que rebasa su requerimiento energético podrá desarrollar obesidad incluso si su dieta es baja en grasas.
- Si una persona hace ejercicio físico constante, sus necesidades energéticas aumentan, entonces la probabilidad de acumular grasa corporal, disminuye.
- Si una persona obesa no disminuye el consumo de alimentos altos en energía y tampoco realiza actividad física suficiente para gastar sus reservas corporales de grasa, entonces la obesidad se mantiene.
- Si una persona obesa desea disminuir sus reservas de grasa, entonces deberá ingerir menos grasa, reducir la cantidad de alimentos que acostumbra, incluir alimentos bajos en energía para evitar la formación de nuevas reservas y realizar constantemente al menos 30 minutos de actividad física diaria para gastar la grasa que ya tiene almacenada.

1. Transformación de alimentos en nutrientes: ingestión-digestión

En esta etapa los sistemas ontológicos de ambos modelos son muy similares (véase tabla 4a), con excepción de que en el MCEL no se distinguen aún a las células como unidades vivas, ni tampoco se reconocen claramente las funciones de vitaminas y minerales.

**Tabla 4a. Comparación entre el MCEL versus MCEA.
Etapa I. Transformación de alimentos en nutrientes
(sistemas ontológicos)**

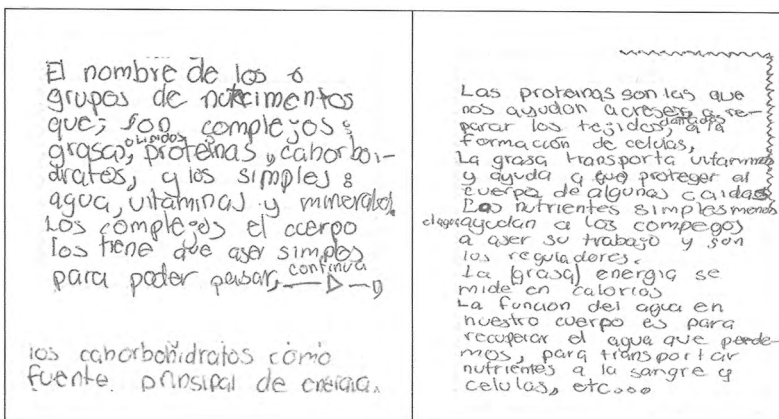
I. Transformación de alimentos en nutrientes: ingestión-digestión	
Similitudes entre los sistemas ontológicos (entidades y propiedades) del MCEL y MCEA	
<p>En ambos modelos se reconoce que...</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alimentos: materiales comestibles formados por carbohidratos, proteínas, grasas, vitaminas, minerales y agua. Necesitan ser transformados para su aprovechamiento. • Carbohidratos, proteínas y grasas requieren ser transformados a nutrientes simples para su absorción y aprovechamiento. • Vitaminas, minerales y agua: son nutrientes simples que no necesitan transformación. • Nutrientes simples: capacidad para entrar a las células. • Proteínas: tienen propiedades plásticas que hacen posible el crecimiento, formación de músculo, reparación y renovación celular. • Agua: componente mayoritario de cuerpo y la sangre; facilita la digestión, absorción, transporte de nutrientes y eliminación de desechos. • Dentro de la boca están: lengua, dientes y glándulas salivales-productoras de saliva. • El aparato digestivo o tracto digestivo forma un conducto abierto y continuo que se extiende desde la boca hasta el ano (distinguiéndose ordenadamente: faringe, esófago, estómago, intestino delgado, intestino grueso y recto). También son entidades anexas las glándulas salivales, el hígado y el páncreas. • El estómago: produce jugos gástricos. • El hígado: produce bilis. • Vesícula biliar: tiene forma de "bolsa" que almacena bilis. • Intestino delgado: en su interior hay vellosidades intestinales muy delgadas (dentro de cada una hay una vena y una arteria). 	
Diferencias entre los sistemas ontológicos del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo-MCEA
Cuerpo humano: ser vivo formado por pequeñas partes llamadas células.	Cuerpo humano: ser vivo formado por órganos. Órganos: formados por células. Células: unidades vivas más pequeñas donde se realiza la función de nutrición.
Los alimentos proporcionan energía para el funcionamiento corporal y permiten la formación de músculo, reparación y renovación celular. Alimentos: formados por células animales o vegetales.	Los alimentos contienen nutrientes que proporcionan energía y materiales para el funcionamiento, formación y renovación celular y por tanto corporal. No lo especifica.

(continuación)

<p>Carbohidratos y grasas: tienen propiedades energéticas. Proteínas: no se reconoce su propiedad energética, pero sí la de formación de músculo.</p>	<p>Carbohidratos, proteínas y grasas: nutrientes que tienen propiedades energéticas. Vitaminas, minerales y agua: mantienen el buen funcionamiento del cuerpo y contribuyen a la formación de huesos y composición de la sangre.</p>
<p>Los nutrientes simples como vitaminas y minerales, con excepción del agua, son ["reguladores"].</p>	<p>Minerales como calcio y fósforo forman huesos y dientes; el hierro forma parte de la sangre.</p>
<p>Se reconoce implícitamente las propiedades de boca, dientes y lengua como entidades que contribuyen a la digestión.</p>	<p>Explicita las propiedades de: boca-hueco receptor de alimentos, lengua-órgano muscular móvil; dientes-estructuras duras que trituran alimentos.</p>
<p>No se reconocen las propiedades del intestino delgado y páncreas como secretores de jugos digestivos.</p>	<p>Páncreas: produce jugos pancreáticos con propiedades digestivas. Intestino delgado: produce jugos intestinales con propiedades digestivas.</p>

Aunque tampoco se identifican las propiedades energéticas de las proteínas, sí se reconoce a detalle su función plástica que posibilita el crecimiento, la reparación y la renovación celular. En la figura 7 se muestran dos fragmentos del MCEL de 07-MLM en formato de texto que provienen del anexo 11.

Figura 7. Fragmentos del MCEL de 07-MLM que muestra algunos elementos ontológicos relativos a las funciones de los alimentos que forman parte del Anexo 11



**Tabla 4b. Comparación entre el MCEL versus MCEA.
Etapa I. Transformación de alimentos en nutrientes
(sistemas epistemológicos de relaciones causa-efecto)**

I. Transformación de alimentos en nutrientes: ingestión-digestión	
Similitudes entre la dimensión epistemológica. Relaciones causa-efecto del MCEL y MCEA	
<p>En ambos modelos se reconoce que...</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durante la ingestión, el cuerpo incorpora alimentos como fuentes de materiales y energía necesarios para su funcionamiento, formación y reparación. • Dientes, lengua y saliva actúan sobre los alimentos, formando un bolo alimenticio fácil de deglutir. • El tracto digestivo hace transitar el bolo alimenticio a través de él, entonces estómago, intestinos y jugos digestivos (saliva, jugos gástricos y bilis) actúan sobre el bolo alimenticio, transformándolo en nutrientes simples antes de su absorción. • La saliva actúa sobre carbohidratos, los jugos gástricos sobre proteínas y la bilis sobre grasas, transformándolos en nutrientes simples antes de su absorción. 	
Diferencias entre la dimensión epistemológica. Relaciones causa-efecto del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo-MCEA
<p>Vitaminas y minerales con excepción del agua, actúan “ayudando” a carbohidratos, proteínas y grasas a desempeñar sus funciones.</p> <p>La grasa transporta o “libera” vitaminas, evitando que éstas queden “estancadas” [en la sangre].</p> <p>El calcio actúa “ayudando” a los huesos. Los restos del alimento no digeridos (que no pudieron ser transformados en nutrientes son eliminados como heces).</p>	<p>Vitaminas y minerales actúan en el cuerpo manteniendo su buen funcionamiento.</p> <p>La transformación de alimentos a nutrientes ocurre paulatinamente, inicia en la boca y termina en el intestino delgado con la acción de los jugos pancreáticos e intestinales. Los materiales restantes –resultado de las diferentes transformaciones– que no fueron utilizados son eliminados como heces.</p>

Sin embargo, el componente epistemológico, relativo a las relaciones causa-efecto (véase tabla 4b) es muy similar, aunque una diferencia importante es que en el MCEL la digestión es reconocida ambiguamente como “procesar” o “simplificar”, sin dar una explicación precisa, mientras que en el MCEA se distingue como la transformación de alimentos en nutrientes, ambos de naturaleza totalmente distinta, no sólo en tamaño sino en composición.

No obstante, en el MCEL, esto no ha impedido incorporar la noción de que los nutrientes son la unidad base para la construcción de los diferentes constituyentes celulares, y por tanto del organismo.

En cuanto al elemento epistemológico, relacionado con las inferencias generalizadas, encontramos que en ambos modelos se reconocen los malos hábitos nutricionales como factores determinantes de la obesidad, como son el alto consumo de grasas o el estilo de vida sedentario por tiempo prolongado (véase tabla 4c).

Incluso, en el MCEL se reconoce que la grasa corporal puede tener un origen no lipídico, es decir, que el incremento de la grasa corporal está determinado no sólo por el consumo de alimentos altos en grasa, sino también por la cantidad de comida ingerida más allá de los requerimientos corporales.

Tabla 4c. Comparación entre el MCEL versus MCEA. Etapa I. Transformación de alimentos en nutrientes (inferencias generalizadas)

I. Transformación de alimentos en nutrientes: ingestión-digestión	
Similitudes entre la dimensión epistemológica. Inferencias generalizadas del MCEL y MCEA	
En ambos modelos se reconocen como factores determinantes de la obesidad los malos hábitos nutricionales, como son el alto consumo de grasas o el estilo de vida sedentario sostenido por tiempo prolongado.	
Diferencias entre la dimensión epistemológica. Inferencias generalizadas del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo-MCEA
Se infiere que, [si] una niña todos los días durante un año consume demasiada grasa y come de más –no sólo grasa– y no hace ejercicio, [entonces] estará obesa. Se reconoce que la grasa corporal puede tener un origen no lipídico, es decir, que el incremento de la grasa corporal está determinado no sólo por el consumo de alimentos altos en grasa, sino también por la cantidad de comida ingerida.	Se infiere que, [si] una persona ingiere por tiempo prolongado alimentos altos en grasa y tiene hábitos sedentarios, [entonces] desarrollará obesidad. El origen no lipídico de la grasa corporal está considerado en otra inferencia del MCEA que se contempló en la etapa 5 del proceso.

2. *Absorción de nutrientes e incorporación de oxígeno a la sangre*

En esta etapa los sistemas ontológicos y la dimensión epistemológica (relaciones causa-efecto) de ambos modelos son muy semejantes porque tanto las entidades con propiedades, como las relaciones causales reconocidas por uno y otro modelo, son suficientes para distinguir la incorporación de nutrientes y oxígeno a la sangre (véase tabla 5a), aunque en el MCEL se reconoce de manera elemental.

En el sistema ontológico del MCEL, representado en la figura 3, es posible observar detalles sobre la organización interna de las vellosidades intestinales, de las vías respiratorias y la estructura alveolar, en él también se aprecia la articulación de ambas entidades con el sistema circulatorio.

Sin embargo, los sistemas epistemológicos, de relaciones causa-efecto (véase tabla 5b) nos ofrecen información más detallada respecto del MCEL. Por ejemplo, en el fragmento del protocolo de entrevista que a continuación mostramos, es posible apreciar las relaciones causales que se reconocen en el MCEL, y que dan cuenta de cómo es posible la incorporación de nutrientes a la sangre.

Ent.: ↪ Ok, antes de que te interrumpiera me ibas a platicar esta parte (Ent. señala una parte del dibujo donde MLM ha utilizado como recurso explicativo un detalle ampliado de las vellosidades intestinales). ¿Qué es esto me decías?

MLM: ↪ Las vellosidades intestinales.

Ent.: ↪ Ajá, ¿qué podrías decir sobre ellas?

MLM: ↪ Que son muy delgaditas y están atravesadas por una vena y una arteria.

Ent.: ↪ ¿Por qué crees que eso es así?

MLM: ↪ Porque las venas... hay una que transporta los nutrientes a todo el cuerpo y las arterias también.

Ent.: A ver, vamos más despacio... según este letrero (Ent. señala el rótulo “Intestino delgado” que MLM ha escrito frente al dibujo), ¿me estás hablando del intestino delgado, que es este rosita que veo aquí señalado con esta línea?

MLM: Sí...este (MLM señala en el dibujo el intestino delgado).

Ent.: ↪ Muy bien...y, ¿por qué están ahí las vellosidades intestinales?

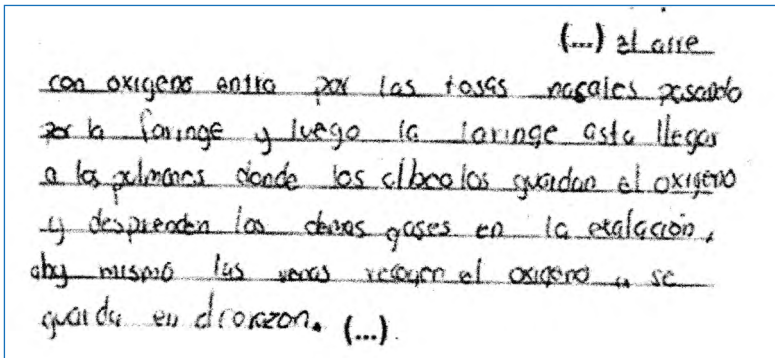
MLM: ↪ Porque van a absorber los nutrientes [270-284].

**Tabla 5a. Comparación entre el MCEL versus MCEA.
Etapa 2. Absorción de nutrientes e incorporación de oxígeno a la sangre
(sistemas ontológicos)**

2. Absorción de nutrientes e incorporación de oxígeno a la sangre	
Similitudes entre los sistemas ontológicos (entidades y propiedades) del MCEL y MCEA	
<p>En ambos modelos se reconoce que...</p> <ul style="list-style-type: none"> • El sitio de absorción de los nutrientes es el intestino delgado, que tiene en su interior vellosidades intestinales muy delgadas, en cuya parte interna se encuentran alojadas una vena y una arteria extremadamente delgadas por donde circula sangre. • Los nutrientes poseen propiedades energéticas y plásticas con capacidad para entrar a las células. • Las venas y arterias son conductos a través de los cuales circula la sangre. • Las vías respiratorias forman una red de conductos que inicia en las fosas nasales/nariz, desciende en un conducto que se ramifica en dos hasta ingresar una rama a cada pulmón, donde se subdivide cada vez más hasta alcanzar los alvéolos pulmonares. • El oxígeno es un gas que forma parte de aire, tiene capacidad de penetrar en sangre y células. 	
Diferencias entre los sistemas ontológicos del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo-MCEA
<p>Sangre: líquido rojo que contiene agua; transporta nutrientes y oxígeno. Aire: contiene oxígeno que es un gas. Alvéolos pulmonares: receptáculos que "guardan" el oxígeno que tienen venas y arterias. Venas: llevan sangre sin oxígeno y bióxido de carbono que son gases y otros desechos. Se acercan al corazón. Arterias: llevan sangre con nutrientes y oxígeno, alejándose del corazón.</p> <p>Venas y arterias: entidades utilizadas indistintamente dentro del modelo.</p> <p>Corazón: al latir/palpitar empuja la sangre. Está dividido en dos partes, una derecha que tiene sangre poco oxigenada y nutrientes. Otra parte izquierda que contiene sangre oxigenada y nutrientes.</p>	<p>Sangre: tejido formado por glóbulos rojos (células), agua y otros componentes, capaz de transportar nutrientes y oxígeno. Aire: mezcla de gases y otros elementos entre los que se encuentra el oxígeno. Alvéolos pulmonares: tienen forma de "bolsa" extremadamente delgadas llenas de aire, envueltos por una red de conductos sanguíneos extremadamente delgados. Venas: a través de ellas circula sangre poco oxigenada, bióxido de carbono y otros desechos celulares. Arterias: a través de ellas circula sangre oxigenada y nutrientes.</p> <p>Corazón: órgano muscular hueco de cuatro cavidades, se distinguen principalmente dos; la derecha tiene sangre poco oxigenada, bióxido de carbono y otros desechos; la izquierda contiene oxígeno y nutrientes; realiza contracciones y expansiones musculares.</p>

Por lo que se refiere a las relaciones causales propias que se reconocen en el MCEL para describir la oxigenación de la sangre, hemos incorporado el siguiente fragmento del modelo en formato de texto –tomado de la figura 3– para ilustrar parte de ellas (figura 8).

Figura 8. Fragmento del MCEL de 07-MLM (detalle en la figura 3) que muestra algunas relaciones causales que describen la oxigenación de la sangre



(...) el aire
con oxígeno entra por las fosas nasales pasando
por la faringe y luego la faringe está llegar
a los pulmones donde los alveolos guardan el oxígeno
y desprenden los otros gases en la exhalación,
ahí mismo las venas reciben el oxígeno y se
guarda en el corazón. (...).

En cuanto a las relaciones causales, vale la pena destacar que en el MCEL la incorporación de oxígeno a la sangre se queda en el plano descriptivo; porque sólo se logra identificar parcialmente la estructura alveolar y el paso del oxígeno a la corriente sanguínea a través de las venas, pero no explica qué tipo de relaciones causa-efecto suceden entre el oxígeno, el alvéolo, la vena y la sangre que fluye para hacer posible la oxigenación de la sangre.

Tabla 5b. Comparación entre el MCEL versus MCEA.
Etapa 2. Absorción de nutrientes e incorporación de oxígeno a la sangre
(sistemas epistemológicos de relaciones causa-efecto)

2. Absorción de nutrientes e incorporación de oxígeno a la sangre	
Similitudes entre la dimensión epistemológica. Relaciones causa-efecto del MCEL y MCEA	
<ul style="list-style-type: none"> • Los nutrientes atraviesan las vellosidades intestinales y sus venas internas, consecuentemente los nutrientes se incorporan a la circulación sanguínea. • Los nutrientes salen del intestino delgado a través de venas hacia el hígado, para continuar su recorrido por venas, ingresando al lado derecho del corazón. • El aire inhalado penetra en las vías respiratorias desde la nariz hasta el interior de los pulmones y entra en los alvéolos pulmonares. • El corazón impulsa la sangre contenida en su lado derecho a través de venas, consecuentemente entra a cada pulmón. • Parte del oxígeno contenido en cada alvéolo pasa a la sangre, oxigenándola. 	
Diferencias entre la dimensión epistemológica. Relaciones causa-efecto del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo-MCEA
<p>La sangre que circula por las venas cargada de nutrientes proveniente del intestino pasa por el hígado, hasta llegar al lado derecho del corazón que tiene sangre sin oxígeno/baja en oxígeno.</p> <p>La sangre con nutrientes sale del lado derecho del corazón a través de las venas hasta los pulmones donde están los alvéolos pulmonares que “guardan” el oxígeno, de ahí, las venas lo “recogen” y pasa a la sangre para regresar [oxigenada y con nutrientes] al otro lado del corazón [izquierdo].</p>	<p>La sangre transporta los nutrientes a través de venas, desde el intestino delgado hasta el hígado, para luego ingresar al lado derecho del corazón.</p> <p>Sangre poco oxigenada pero rica en grasa y otros nutrientes sale del hígado a través de una vena, para entrar al corazón, como resultado, el lado derecho del corazón recibe sangre con nutrientes, pero poco oxigenada.</p> <p>Al contraerse, el corazón actúa sobre la sangre contenida en su lado derecho, impulsándola/bombeándola, a través de una arteria que se divide en dos y entra a cada pulmón, como resultado, la sangre llega hasta la red de conductos sanguíneos que envuelve los alvéolos.</p> <p>Parte del oxígeno contenido en el aire del alvéolo, atraviesa tanto el alvéolo como el conducto sanguíneo que lo envuelve y entra a la sangre, oxigenándola.</p> <p>Cuando el corazón se expande, la sangre regresa de los pulmones –a través de venas– al lado izquierdo del corazón ya oxigenada y “cargada” de nutrientes.</p>

Tampoco en el MCEL hay claridad sobre si son arterias, venas o sangre las que permiten el movimiento de alejarse o acercarse al corazón, porque frecuentemente se señala indistintamente a las

entidades sangre, vena o arteria como el vehículo que transporta nutrientes y oxígeno a las células.

Por otra parte, vale la pena destacar que en esta segunda etapa que se acaba de abordar no se consideraron inferencias generalizadas en ninguno de los modelos analizados.

Tabla 6a. Comparación entre el MCEL versus MCEA. Etapa 3. Distribución de nutrientes y oxígeno a los órganos/células (sistemas ontológicos)

3. Distribución de nutrientes y oxígeno a los órganos/células	
Similitudes entre los sistemas ontológicos (entidades y propiedades) del MCEL y MCEA	
<p>En ambos modelos se reconoce que...</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sangre: contiene agua, es de color rojo y transporta nutrientes y oxígeno. • Venas y arterias: conductos a través de los cuales circula la sangre. • Arterias: conductos a través de los cuales circula sangre oxigenada y nutrientes. • Corazón: es hueco con cuatro cavidades, se distinguen principalmente dos; la derecha tiene sangre poco oxigenada, nutrientes, bióxido de carbono y otros desechos; la izquierda contiene oxígeno y nutrientes. Al palpar/latir “impulsa la sangre”. • Oxígeno: gas que forma parte del aire, capaz de entrar en sangre y células. 	
Diferencias entre los sistemas ontológicos (entidades y propiedades) del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo-MCEA
<p>Sangre: líquido rojo que contiene agua que transporta nutrientes y oxígeno.</p> <p>Arterias: llevan sangre con nutrientes y oxígeno, alejándose del corazón.</p> <p>Corazón: dividido en dos partes, una derecha que tiene nutrientes, sangre poco oxigenada, bióxido de carbono y otros desechos celulares. Otra izquierda que contiene sangre oxigenada y nutrientes. Al palpar/latir impulsa la sangre haciéndola circular.</p>	<p>Sangre: tejido formado por glóbulos rojos (células), agua y otros componentes, que transporta nutrientes y oxígeno.</p> <p>Arterias: a través de ellas circula sangre oxigenada y nutrientes en dirección contraria al corazón.</p> <p>Corazón: órgano muscular hueco de cuatro cavidades, se distinguen principalmente dos; la derecha tiene sangre poco oxigenada, nutrientes, bióxido de carbono y otros desechos; la izquierda contiene oxígeno y nutrientes; realiza contracciones y expansiones musculares, haciendo circular la sangre a través de venas y arterias.</p>

3. Distribución de nutrientes y oxígeno a los órganos/células

Los sistemas ontológicos del MCEL y MCEA son similares (véase tabla 6a), excepto por algunas diferencias en las propiedades de sus

entidades, lo cual no ha impedido que en ambos se reconozcan las relaciones causales que hacen posible la distribución de nutrientes y oxígeno a las células a través de la circulación sanguínea.

Por ejemplo, en el MCEL aún no se explica que los latidos del corazón suceden por contracciones y expansiones del músculo cardiaco, que hacen posible el movimiento de la sangre hacia los pulmones y al resto del cuerpo, ni la sangre se ha reconocido aún como un tejido del cual forman parte los glóbulos rojos, entidades imprescindibles que hacen posible el transporte de oxígeno.

**Tabla 6b. Comparación entre el MCEL versus MCEA.
Etapa 3. Distribución de nutrientes y oxígeno a los órganos/células
(sistemas epistemológicos de relaciones causa-efecto)**

3. Distribución de nutrientes y oxígeno a los órganos/células	
Similitudes entre la dimensión epistemológica. Relaciones causa-efecto del MCEL y MCEA	
<p>En ambos modelos se reconoce que...</p> <ul style="list-style-type: none"> • La sangre con nutrientes ya oxigenada, sale de los pulmones –a través de venas– y regresa al lado izquierdo del corazón. • El corazón impulsa la sangre oxigenada y con nutrientes a través de las arterias, haciéndola llegar a todas las células. • La sangre reparte nutrientes y oxígeno a todas las células. 	
Diferencias entre la dimensión epistemológica. Relaciones causa-efecto del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo-MCEA
<p>La sangre regresa de los pulmones –a través de venas– trayendo consigo nutrientes y oxígeno, y entra al del corazón [lado izquierdo]. Al palpar/latir, el corazón empuja la sangre oxigenada y con nutrientes –que está en su lado izquierdo– simultáneamente, las arterias la atraen haciéndola pasar a través de ellas. La sangre/arterias se alejan del corazón, distribuyendo nutrientes, agua y oxígeno a los músculos y órganos que están formados por células.</p>	<p>Cuando el corazón se expande, la sangre oxigenada y con nutrientes regresa de los pulmones –a través de venas– al lado izquierdo del corazón. Al contraerse, el corazón actúa sobre la sangre contenida en su lado izquierdo, impulsándola/ bombeándola, manteniéndola en movimiento a través de las arterias, así nutrientes y oxígeno son distribuidos a todos los órganos/células del cuerpo. Parte del oxígeno y de los nutrientes atraviesan las arterias y las células; así, todas las células reciben en su interior nutrientes y oxígeno.</p>

En cuanto a los sistemas epistemológicos de relaciones causa-efecto, vinculados a esta etapa (véase tabla 6b), encontramos principalmente que en el MCEL no se ha reconocido del todo que las contracciones y expansiones del corazón hacen posible la circulación de la sangre a través del sistema venoso y arterial, porque atribuye a las arterias la propiedad de ejercer una fuerza de atracción sobre la sangre para hacerla circular por su interior, además de reconocer que ésta es bombeada por el corazón; es decir, en dicho modelo, no se distingue que el impulso ejercido por el corazón sobre la sangre sea suficiente para hacerla circular por los diferentes vasos sanguíneos.

Por otra parte, es importante señalar que del MCEL se infiere que si se analiza la muestra de sangre de una persona, es posible observar todo tipo de nutrientes (carbohidratos, proteínas, grasas, minerales, vitaminas y agua), incluido el oxígeno, con el argumento de que dichas entidades son transportadas por la sangre a través de venas y arterias. También se reconoce que en la sangre es posible identificar altas proporciones de grasa, lo cual puede ser un indicativo de sobrepeso u obesidad en una persona. De igual manera, alude a complicaciones fisiológicas que pueden derivarse del exceso de grasa en la sangre (véase tabla 6c).

Tabla 6c. Comparación entre el MCEL versus MCEA. Etapa 3. Distribución de nutrientes y oxígeno a los órganos/células (inferencias generalizadas)

3. Distribución de nutrientes y oxígeno a los órganos/células	
Similitudes entre la dimensión epistemológica. Inferencias generalizadas del MCEL y MCEA	
<p>En ambos modelos se reconoce que...</p> <ul style="list-style-type: none"> • La sangre es un medio de transporte “líquido” que distribuye nutrientes y oxígeno y por ello es posible encontrar en una muestra de sangre todo tipo de nutrientes. • El exceso de grasa en la sangre puede ser un indicativo de sobrepeso u obesidad en una persona. 	
Diferencias entre la dimensión epistemológica. Inferencias generalizadas del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo-MCEA
<p>Se infiere que...</p> <p>[Si se examina] una muestra de sangre humana, [entonces] se pueden encontrar nutrientes, como minerales, vitaminas, agua, grasas, proteínas, agua y oxígeno porque la sangre los transporta por el cuerpo, a través de venas y arterias.</p> <p>[Si] la sangre de una persona tiene demasiada grasa, [entonces] es probable que tenga sobrepeso u obesidad, y tiene riesgo de que la grasa tape una arteria y no pueda pasar sangre.</p>	<p>Se infiere que...</p> <p>[Si] la sangre transporta nutrientes y oxígeno, [entonces] una muestra de sangre da información sobre la presencia de oxígeno y tipo de nutrientes presentes en la sangre de una persona en un momento determinado.</p> <p>[Si] la sangre transporta grasa, [entonces] una muestra de sangre puede dar información sobre el riesgo de sufrir alguna enfermedad asociada con el exceso de grasa en la sangre.</p>
<p>Se reconoce específicamente a todos los grupos de nutrientes que son transportados por la sangre.</p> <p>Se establece una probable vinculación entre el exceso de grasa en la sangre de una persona con el sobrepeso u obesidad y de la obstrucción del flujo sanguíneo causada por la grasa.</p>	<p>Especifica los tipos de nutrientes que son transportados por la sangre, alude a que el tipo de nutrientes y oxígeno son variables en el tiempo.</p> <p>No asocia padecimientos específicos vinculados con el exceso de grasa en la sangre de una persona, pero reconoce su vinculación con enfermedades.</p>

4. Utilización de nutrientes y oxígeno por los órganos/células

En términos generales, los sistemas ontológicos reconocidos en ambos modelos son parecidos (véase tabla 7a), porque identifican las mismas entidades; sin embargo, no es así cuando se revisan las propiedades de dichas entidades.

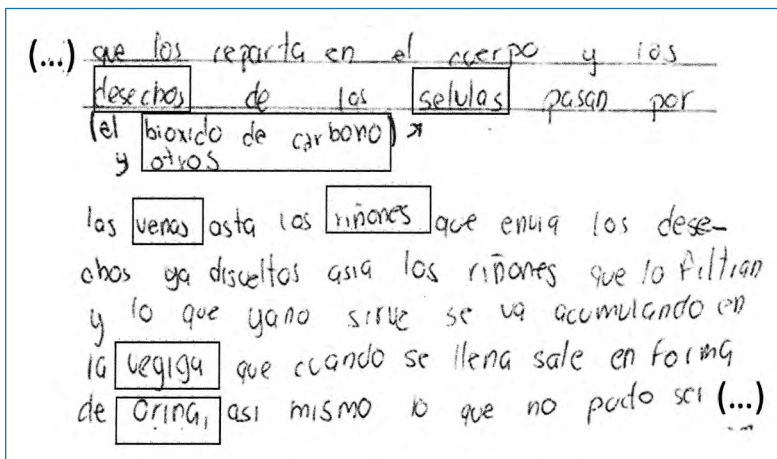
Tabla 7a. Comparación entre el MCEL versus MCEA. Etapa 4. Utilización de nutrientes y oxígeno por los órganos/células (sistemas ontológicos)

4. Utilización de nutrientes y oxígeno por los órganos/células	
Similitudes entre los sistemas ontológicos (entidades y propiedades) del MCEL y MCEA	
<p>En ambos modelos se reconoce que...</p> <ul style="list-style-type: none"> • El cuerpo humano es un ser vivo formado por células. • Los alimentos contienen nutrientes que proporcionan energía y materiales para el funcionamiento, formación y renovación celular. 	
Diferencias entre los sistemas ontológicos (entidades y propiedades) del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo-MCEA
<p>Cuerpo humano: ser vivo formado por pequeñas partes llamadas células.</p> <p>Las células requieren nutrientes y oxígeno para obtener energía y lo necesario para repararse o renovarse.</p> <p>Nutrientes: proporcionan energía al cuerpo. Ayudan a crecer, reparar heridas y formar células.</p> <p>Bióxido de carbono: desecho celular gaseoso.</p> <p>Oxígeno: gas capaz de entrar a sangre y células.</p> <p>Venas: llevan sangre sin oxígeno/poco oxigenada con bióxido de carbono y otros desechos. Se acercan al corazón.</p> <p>Arterias: llevan sangre con nutrientes y oxígeno, alejándose del corazón.</p> <p>Riñones: “filtran” la sangre que lleva desechos.</p> <p>Vejiga: órgano que guarda la orina que recibe de los riñones.</p> <p>El oxígeno es un gas que forma parte del aire y se combina con los nutrientes dentro de las células, proporcionando con ello, energía y materiales para el crecimiento, renovación y reparación celular.</p>	<p>Cuerpo humano: ser vivo formado por células.</p> <p>Células: unidades vivas muy pequeñas que forman todo ser vivo, y donde se realiza la nutrición.</p> <p>Nutrientes: tienen propiedades energéticas para el funcionamiento y contienen materiales para el crecimiento, formación y renovación celular. Pueden entrar a las células.</p> <p>Oxígeno: gas capaz de atravesar arterias y células para introducirse en ellas. Actúa sobre los nutrientes transformándolos en energía y materiales útiles para la célula.</p> <p>Bióxido de carbono: gas que forma parte del aire, es un desecho celular, que sale y entra a las venas.</p> <p>Arterias: conductos a través de los cuales circula sangre oxigenada con nutrientes en dirección opuesta al corazón.</p> <p>Venas: conductos a través de los cuales circula sangre poco oxigenada y alta en CO₂ y otros desechos desde las células hasta el corazón y luego a los pulmones.</p> <p>Riñones: capacidad selectiva para retirar de la sangre, agua y desechos celulares no gaseosos y formar orina.</p> <p>Vejiga: estructura en forma de “bolsa” capaz de almacenar orina y contraerse.</p>

Por ejemplo, en el MCEL, aunque se reconoce que los seres vivos están formados por células y que son las destinatarias finales de los nutrientes y del oxígeno, reiteradamente se alude a que tanto nutrientes como oxígeno son transportados a los “órganos”, a “diferentes partes del cuerpo”, a “todo el cuerpo”; lo cual implica que en este modelo aún no se ha identificado completamente a la célula como la unidad anatómica y funcional del cuerpo y su organización celular.

En el siguiente fragmento del MCEL en formato de texto –que proviene de la figura 3– es posible distinguir algunas de las entidades reconocidas (figura 9).

Figura 9. Fragmento del MCEL de 07-MLM tomado de la figura 3, que muestra algunas entidades reconocidas en la Etapa 4. Utilización de nutrientes y oxígeno por las células



Sin embargo, en los sistemas epistemológicos de relaciones causa-efecto (véase tabla 7b), se logran identificar las entidades y establecer relaciones causales básicas que reconocen la participación de nutrientes y oxígeno en las células que resulta en el suministro de energía y materiales para su funcionamiento y reparación, con la consecuente formación de desechos que será necesario eliminar.

**Tabla 7b. Comparación entre el MCEL versus MCEA.
Etapa 4. Utilización de nutrientes y oxígeno por los órganos/células
(sistemas epistemológicos de relaciones causa-efecto)**

4. Utilización de nutrientes y oxígeno por los órganos/células	
Similitudes entre la dimensión epistemológica. Relaciones causa-efecto del MCEL y MCEA	
<p>En ambos modelos se reconoce que...</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los nutrientes y el oxígeno una vez dentro de las células se combinan, obteniéndose energía para el funcionamiento celular/corporal con la consecuente formación de desechos, transportados por la sangre y excretados por vía pulmonar o renal. 	
Diferencias entre la dimensión epistemológica. Relaciones causa-efecto del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Lo- grado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo- MCEA
<p>En las células, el oxígeno “libera” la energía de los nutrientes, para que los órganos puedan funcionar y obtener lo necesario para crecer, reparar y formar nuevas células, en consecuencia, se producen desechos como el bióxido de carbono –que es un gas– y otros más, que deben ser expulsados para evitar que el cuerpo se dañe.</p> <p>La sangre de las venas “recolecta” bióxido de carbono y desechos líquidos y sólidos, que al pasar por los alvéolos pulmonares “recoge” oxígeno y “libera” bióxido de carbono y otros gases por exhalación a través de la nariz.</p> <p>Los desechos celulares disueltos en la sangre pasan por las venas hasta los riñones, los cuales “filtran” el agua útil devolviéndola a la sangre. La no útil formará la orina.</p> <p>La orina es transportada por dos conductos (uno que sale de cada riñón) hasta la vejiga, para su expulsión por la uretra.</p>	<p>Dentro de cada célula ocurre la transformación de unas sustancias (nutrientes) –con involucramiento del oxígeno– en otras completamente diferentes, que tienen la propiedad de formar y reparar células, en cuyo proceso se libera energía para su funcionamiento.</p> <p>Como resultado de estas transformaciones, las células/órganos forman y liberan desechos como bióxido de carbono (CO₂), agua y restos no gaseosos; que al salir de la célula/órgano atraviesan las venas incorporándose a la sangre –pobre en oxígeno– en su regreso al lado derecho del corazón, que posteriormente son excretados por vía pulmonar o renal.</p> <p>Al contraerse, el corazón impulsa/bombea la sangre a través de una arteria que se divide en dos ramas para entrar una a cada pulmón hasta llegar a los conductos sanguíneos que envuelven los alvéolos pulmonares, así, el CO₂ cruza las paredes de los vasos sanguíneos y de los alvéolos, mezclándose con el aire que ahí se encuentra y asciende por las vías respiratorias hasta la nariz y la boca para eliminarse por exhalación.</p> <p>La sangre con el resto de los desechos circula dentro de los riñones, desprendiendo desechos no gaseosos y agua, formando la orina, que es transportada por dos conductos –uno de cada riñón– hasta la vejiga para ser expulsada por la uretra.</p>

En cuanto a los sistemas epistemológicos de relaciones causa-efecto establecidas en ambos modelos son muy próximos (véase tabla 7b), en el MCEL sólo se reconocen relaciones de causalidad muy elementales y de carácter descriptivo acerca de la participación de nutrientes y oxígeno en las células que tiene como resultado el suministro de energía y materiales para su funcionamiento y reparación, con la consecuente formación de desechos que será necesario eliminar.

Aunque en el MCEL se utilizan términos ambiguos como “libera”, “recolecta”, “filtra”, que no explican a cabalidad las relaciones causales que suceden entre las entidades durante la utilización de nutrientes y oxígeno por parte de las células, se aproximan a lo planteado en el MCEA. En el MCEL se reconoce la totalidad de las entidades; sin embargo, persisten ideas incompletas o poco claras respecto a la identificación de las propiedades de ciertas entidades.

Los siguientes dos fragmentos del protocolo de entrevista ilustran en alguna medida las relaciones identificadas en el MCEL sobre la utilización de nutrientes y oxígeno por los órganos/células, con la consecuente formación de desechos.

Ent.: O sea, cuando pase por la célula esa sangre con nutrientes y oxígeno, ¿qué va a pasar?... imagina, ya llegó.

MLM: A la célula... entonces...

Ent.: ↯¿Qué va a llegar a las células?

MLM: ↯Los nutrientes.

Ent.: ↯¿Solamente?

MLM: ↯Y el agua y la sangre y <el oxígeno>.

Ent.: Entiendo que ¿la sangre va recorriendo y llega?

MLM: Ajá

Ent.: Lleva todo eso... ¿sí?

MLM: Sí

Ent.: ↯Y la célula ¿qué va a hacer?... ya tiene nutrientes, oxígeno y agua.

MLM: ↯Y con el oxígeno es cuando se libera la energía... ¡ENERGÍA!

Ent.: ↯¿De dónde se libera la energía?

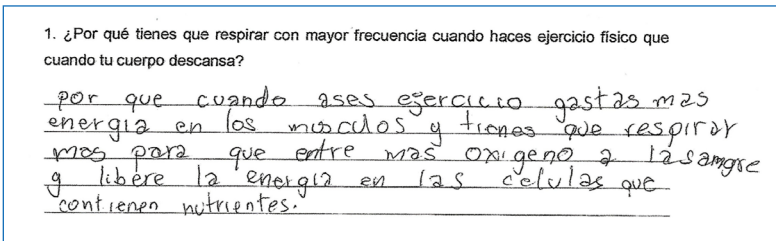
MLM: ↯De los nutrientes>.

Ent.: ↯Mmm... ya y, una vez que se libera la energía de los nutrientes, ¿hay alguna consecuencia de eso?

MLM: ↯Sí, se forman desechos... sería bióxido de carbono como un ejemplo y como que ya cuando regresa [la sangre] o sea, cuando ya no tiene oxígeno va a pasar a los pulmones donde va a dejar el bióxido de carbono y <ya va a salir por la nariz> [409-428].

Parte de estas relaciones causales que acabamos de presentar, también pueden apreciarse en la figura 9 (ya mencionada), y en la figura 10, que corresponde a un fragmento del MCEL en formato de texto procedente del Anexo 8.

Figura 10. Fragmento del MCEL de 07-MLM que muestra algunas relaciones causales sobre la utilización de nutrientes y oxígeno por las células tomado del Anexo 8



El fragmento de entrevista que presentamos a continuación hace referencia a las relaciones causales reconocidas en el MCEL, sobre la formación y eliminación de desechos celulares, que resultan de la utilización de nutrientes y oxígeno por parte de las células.

Ent.: ↯Sí, y ¿antes de que lleguen a la nariz?

MLM: ↯Ah::: Sí... tienen que pasar por... la sangre va a pasar por las venas (MLM señala con su dedo una de las venas que ha representado en su dibujo), <las venas van a pasar a los alvéolos para recoger oxígeno y::: van a liberar el bióxido de carbono y ya va a salir cuando exhalamos>.

Ent.: ↪Muy bien, y ¿en el caso de los otros desechos que no son gases? (MLM interrumpe a Ent.).

MLM: ↪El agua, se iría por la sangre por, igual... por, a los:: riñones (MLM señala uno de los riñones).

Ent.: ↪O sea, que, en algún momento, alguna arteria, vena, no sé qué pienses tú, ¿están conectados a los riñones?

MLM: Ajá, sí.


Ent.: ↪Y cuando la sangre pase por los riñones, ¿qué van a hacer los riñones?

MLM: ↪Van a como que a filtrar el agua que sirve de ahí y la que ya no sirve se va a formar la orina y luego va a pasar por... igual por una vena o una arteria (MLM señala las venas y arterias que emergen de los riñones y llegan hasta la vejiga) y va a llegar hasta la vejiga, donde se va guardando la orina y luego ya nos dan ganas de ir al baño y orinamos [471-488].


El texto de la figura 11, fue tomado del Anexo 7 y complementa lo expresado en el fragmento de entrevista que acabamos de presentar.

Figura 11. Fragmento del MCEL de 07-MLM que hace referencia a la formación de desechos celulares vinculada a la utilización de nutrientes por parte de las células, procedente del Anexo 7

¿Qué componentes crees que fue posible encontrar en la orina de Beto, cuando la estudiaron en el laboratorio? Escribe tu respuesta en la hoja de "Resultados de Laboratorio".

 RESULTADOS DE LABORATORIO Nombre: Alberto Luna

desechos de los nutrientes
en las células disueltas en agua.
y los nutrientes que
no se aprovecharon.



¿Por qué piensas que es posible encontrar esos componentes en la orina de Beto?
por que son los desechos de la célula
nutrientes) que comemos

Por lo que se refiere a las inferencias generalizadas, podemos decir que en ambos modelos las inferencias son similares, incluso en el

MCEL –a diferencia del MCEA– se identifica que en la orina también es posible observar nutrientes que no pudieron ser utilizados por el organismo.

Tabla 7c. Comparación entre el MCEL versus MCEA. Etapa 4. Utilización de nutrientes y oxígeno por los órganos/células (inferencias generalizadas)

4. Utilización de nutrientes y oxígeno por los órganos/células	
Similitudes entre la dimensión epistemológica. Inferencias generalizadas del MCEL y MCEA	
<p>En ambos modelos se reconoce que...</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durante el ejercicio físico el cuerpo utiliza mucha energía, entonces necesita admitir más cantidad de oxígeno, por ello la frecuencia respiratoria aumenta. • Durante el ejercicio físico el corazón late más rápido para enviar sangre oxigenada a las células y con ello obtener energía de los nutrientes. • La orina es producto de la excreción celular, formada por agua y desechos provenientes de los nutrientes consumidos. 	
Diferencias entre la dimensión epistemológica. Inferencias generalizadas del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo- MCEA
<p>[Si se estudia] la orina de una persona, [entonces] es posible encontrar desechos celulares disueltos en agua, provenientes de los nutrientes, además de aquellos que no se aprovecharon.</p>	<p>[Si] durante el ejercicio físico, el cuerpo utiliza mucha energía, [entonces] necesita admitir más oxígeno, por ello la frecuencia respiratoria aumenta.</p> <p>[Si] durante el ejercicio físico, el cuerpo utiliza mucha energía, [entonces] el corazón necesita enviar más sangre oxigenada a los músculos para cubrir rápidamente su requerimiento de oxígeno, por ello la frecuencia cardíaca aumenta.</p> <p>[Si] se estudia la orina de una persona, [entonces] se pueden encontrar desechos celulares disueltos, provenientes de la transformación de los nutrientes.</p>

5. Formación y almacenamiento de grasa corporal asociado al gasto energético

Como puede apreciarse en la tabla 8a, los sistemas ontológicos de ambos modelos son muy similares, salvo algunas propiedades específicas de ciertas entidades que se muestran en la tabla referida.

Por ejemplo, en el MCEL se reconoce el hígado como una entidad capaz de transformar en grasa todo nutriente consumido en exceso, incluidas las vitaminas.

Respecto a los sistemas epistemológicos de relaciones causa-efecto (tabla 8b) de ambos modelos son muy similares. Una semejanza relevante es el reconocimiento que se hace de las entidades y relaciones causales que se establecen para identificar –muy elementalmente– el trayecto que siguen los nutrientes desde el intestino delgado, hasta el hígado antes de su ascenso al corazón por el sistema porta hepático.

Tabla 8a. Comparación entre el MCEL versus MCEA. Etapa 5. Formación y almacenamiento de grasa corporal asociado al gasto energético (sistemas ontológicos)

5. Formación y almacenamiento de grasa corporal asociado al gasto energético	
Similitudes entre los sistemas ontológicos (entidades y propiedades) del MCEL y MCEA	
En ambos modelos se reconoce que... <ul style="list-style-type: none"> • Intestino delgado: está recubierto en su interior por pequeñas estructuras llamadas vellosidades intestinales. • Vellosidades intestinales: partes muy delgadas, en cuyo interior se encuentran alojadas una vena y una arteria extremadamente delgadas. Absorben nutrientes. • Páncreas: produce una sustancia que llega al hígado a través de la sangre. • Sangre: transporta todo tipo de nutrientes a las células, incluida la grasa. • Grasa: contiene grandes cantidades de energía y se almacena como reserva en células especiales. 	
Diferencias entre los sistemas ontológicos (entidades y propiedades) del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo-MCEA
Arterias: llevan sangre con nutrientes y oxígeno, alejándose del corazón. Páncreas: produce una sustancia que es enviada al hígado a través de la sangre. Hígado: transforma en grasa todo tipo de nutriente obtenido de la digestión que esté en exceso, incluyendo las vitaminas.	Arterias: conductos a través de los cuales circula sangre oxigenada con nutrientes en dirección opuesta al corazón. Páncreas: produce una sustancia que vierte a la sangre cuando hay muchos nutrientes en ella, llega al hígado a través de la sangre. Hígado: transforma en grasa los carbohidratos y proteínas obtenidos de la digestión de los alimentos consumidos en exceso.

Identificar este tránsito permite reconocer por qué el hígado bajo ciertas condiciones –exceso de nutrientes en sangre que no fueron utilizados después de una comida– es capaz de transformar reservas energéticas específicas para ciertos órganos (aspecto no considerado en el MCEA) y hacer posible la transformación de carbohidratos y proteínas en grasa corporal, previa intervención de una secreción pancreática.

La identificación de estas relaciones causales, es lo que permite explicar por qué la formación de reservas energéticas, en forma de grasa corporal, es atribuible no sólo al consumo excesivo de grasa, sino también a una ingesta de alimentos ricos en carbohidratos y proteínas, más allá de los requerimientos corporales diarios.

Tabla 8b. Comparación entre el MCEL versus MCEA.
Etapa 5. Formación y almacenamiento de grasa corporal asociado al gasto energético (sistemas epistemológicos de relaciones causa-efecto)

5. Formación y almacenamiento de grasa corporal asociado al gasto energético	
Similitudes entre la dimensión epistemológica relaciones causa-efecto del MCEL y MCEA	
En ambos modelos se reconoce que... <ul style="list-style-type: none"> • Los nutrientes atraviesan las vellosidades intestinales y sus venas internas, consecuentemente los nutrientes se incorporan a la circulación sanguínea. • Los nutrientes absorbidos pasan del intestino delgado hasta el hígado, a través de las venas antes de llegar al corazón. • El hígado actúa sobre los nutrientes consumidos en exceso, transformándolos en grasa. • La grasa consumida en exceso durante la comida y la formada en el hígado, es transportada por la sangre a células especiales que la almacenan como reserva energética, aumentando la grasa corporal. 	
Diferencias entre la dimensión epistemológica. Relaciones causa-efecto del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo-MCEA
Cuando todas las partes del cuerpo tienen nutrientes necesarios, el páncreas produce una sustancia que envía al hígado a través de la sangre, consecuentemente, el hígado actúa sobre los nutrientes que llegan en exceso (incluidas vitaminas), transformándolos en grasa.	Cuando hay exceso de nutrientes en la sangre, el páncreas produce una sustancia que es transportada por la sangre a todo el cuerpo –incluido el hígado– en consecuencia, el hígado transforma los carbohidratos y proteínas excedentes en grasa.

**Tabla 8c. Comparación entre el MCEL versus MCEA.
Etapa 5. Formación y almacenamiento de grasa corporal asociado
al gasto energético (inferencias generalizadas)**

5. Formación y almacenamiento de grasa corporal asociado al gasto energético	
Similitudes entre la dimensión epistemológica. Inferencias generalizadas del MCEL y MCEA	
<p>En ambos modelos se reconoce que...</p> <ul style="list-style-type: none"> • [Si] una persona ingiere por tiempo prolongado alimentos altos en grasa y tiene hábitos sedentarios, [entonces] desarrollará obesidad. • [Si] una persona obesa continúa consumiendo mediante los alimentos más energía de la que gasta, [entonces] la obesidad se mantiene. • [Si] una persona obesa desea disminuir sus reservas de grasa, [entonces] deberá ingerir alimentos bajos en energía para no acumular más reservas y aumentar su actividad física para gastar la grasa que ya tiene almacenada. 	
Diferencias entre la dimensión epistemológica. Inferencias generalizadas del MCEL y MCEA	
Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL	Modelo Científico Escolar de Arribo-MCEA
<p>En el modelo se infiere que...</p> <ul style="list-style-type: none"> • [Si] una persona obesa consume más calorías de las que utiliza porque el ejercicio es insuficiente [entonces] sus reservas de grasa se mantienen y la obesidad también. • [Si] un niño consume cotidianamente más alimentos de los que su cuerpo requiere para funcionar, usará sólo los nutrientes necesarios, [entonces] el hígado –con participación del páncreas– transformará en grasa los nutrientes que estén en exceso y si su actividad física es escasa o nula, después de un tiempo padecerá obesidad. • [Si] una persona ingiere por tiempo prolongado más alimentos de los que necesita, alimentos altos en grasa y tiene hábitos sedentarios, [entonces] probablemente desarrollará obesidad. • [Si se examina] la sangre de una persona, se puede detectar si tiene sida o VPH u otros problemas como la anorexia o bulimia, [entonces] en tal caso] tendrá pocos nutrimentos como agua, minerales, vitaminas, proteínas, carbohidratos y grasas. 	<p>En el modelo se infiere que...</p> <ul style="list-style-type: none"> • [Si] una persona consume cotidianamente mediante los alimentos más energía de la que su cuerpo utiliza, [entonces] el hígado transformará en grasa los azúcares y proteínas consumidos en exceso y después de un tiempo padecerá obesidad. • [Si] el hígado –en coordinación con el páncreas– transforma en grasa los azúcares y las proteínas consumidos en exceso, [entonces] un niño que rebasa su requerimiento energético podrá desarrollar obesidad, incluso si su dieta es baja en grasas.

Como puede observarse en la tabla 8c, las inferencias generalizadas presentan similitudes, pero también diferencias, principalmente

en que en el MCEL se utiliza el término “grasa” como sinónimo de “energía” y “caloría”, lo que indica que aún no se ha construido un modelo de energía que permita explicar el fenómeno de la obesidad en términos de consumo y gasto energético con mayor precisión. En este modelo se introduce también el proceso de “quemar calorías”, pero no se cuenta con datos para conocer con exactitud el significado que se le atribuye, sin embargo, no es atribuible a la secuencia didáctica porque no se introdujo ni se reforzó durante su desarrollo.

De igual manera, en el MCEL se reconoce que todos los nutrientes pueden ser transformados en grasa cuando se encuentran excedidos en el organismo, mientras que en el MCEA, esta propiedad solo es atribuida a carbohidratos y proteínas.

Por otra parte, los instrumentos utilizados para recobrar la información relativa a las inferencias generalizadas y los datos recuperados en la entrevista, sólo nos permitieron “reconstruir” este constituyente del modelo para hacer posible su presentación bajo la forma de hipótesis causal: [Si] x [entonces] y.

A continuación, presentamos un ejemplo de la inferencia “reconstruida” a partir de un texto (figura 12), el cual fue tomado del Anexo 10, en el que se presenta el contexto del planteamiento hecho a la estudiante.

Figura 12. Inferencia “reconstruida” del MCEL de 07-MLM, a partir del texto que forma parte del Anexo 10

Fragmento del MCEL en formato texto	Inferencia reconstruida
<p>A continuación, te presentamos una afirmación. Encierra en un círculo <input type="radio"/> SI o <input type="radio"/> NO según consideres. Después debes explicar tu respuesta.</p> <p>1. Seguramente, mi vecina alcanzará su meta de bajar de peso y logrará un peso adecuado para su estatura y edad porque hace ejercicio. SI <input checked="" type="radio"/> NO</p> <p>¿Por qué? <i>Por que el ejercicio que se va ayuda a bajar las reservas de grasa y su dieta es mediante a mas calorias de lo que ocupa y mas al ejercicio come mas y el ejercicio es en vano.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • [Si] una persona obesa consume más calorías de las que utiliza [entonces] sus reservas de grasa se mantienen y la obesidad también.

Los modelos comparados tienen en términos generales gran similitud en sus sistemas ontológicos, en particular en el reconocimiento de las entidades; sin embargo, en cuanto a sus propiedades, encontramos diferencias con mayor frecuencia, las cuales ya hemos señalado en las tablas comparativas. Asimismo, en los sistemas epistemológicos, encontramos que las relaciones causales son más descriptivas que explicativas y que en las inferencias generalizadas hay diferencias importantes. No obstante, esto no ha impedido que haya coincidencias en las principales relaciones causales que dan cuenta de la función de nutrición y del fenómeno abordado.

Brevemente, diremos que en el MCEL se reconoce que los seres humanos estamos formados por células. Se identifica que los alimentos están formados por seis grupos de nutrientes que proporcionan al cuerpo energía para su funcionamiento y materiales para su crecimiento, reparación y renovación. Se distingue que en la función de nutrición participan de manera integrada los aparatos digestivo, respiratorio y circulatorio. Se especifica que el suministro de energía y los elementos necesarios para el adecuado funcionamiento del organismo son producto de la interacción entre nutrientes y oxígeno en las células, resultando desechos que son eliminados por vía renal.

Sin embargo, es preciso anotar que si bien se identifica en el MCEL una participación importante del oxígeno (O_2) en el proceso de nutrición, en el MCEA se pretende que el estudiante construya la idea de que el proceso de nutrición consiste básicamente en la producción de una serie de transformaciones químicas (con involucramiento del O_2). En dicho proceso, unas sustancias se transforman en otras completamente diferentes, se libera la energía requerida para el funcionamiento corporal, se forman materiales necesarios para la reparación y renovación celular, y se producen desechos como resultado de tales transformaciones químicas.

Finalmente, se reconoce que los nutrientes –producto de la digestión– consumidos más allá de los requerimientos corporales, son transformados en grasa que es almacenada como reserva energética

que, cuando supera ciertos límites, es conocida como obesidad. Y ésta es considerada una enfermedad que desencadena otros padecimientos, pero puede ser abatida –en algunos casos– mediante actividad física y alimentos bajos en energía.

Valoración del Modelo Científico Escolar Logrado: el MCEL según los cuatro criterios analíticos

En esta parte del análisis damos cuenta en qué medida en el MCEL se reconoce el funcionamiento del cuerpo humano como un sistema, para apreciar qué explica y qué no del fenómeno de la obesidad, desde la perspectiva biológica, especialmente desde el consumo y gasto energético.

El primero de los criterios es:

a) ***Reconocimiento de las propiedades de los alimentos y sus funciones***, con este criterio se intenta valorar si en el modelo analizado se reconoce que los alimentos contienen diferentes tipos de nutrientes, los cuales realizan funciones específicas y cómo se vincula su consumo con la obesidad.

En el modelo de la estudiante se distingue que los alimentos están compuestos por seis grupos de nutrientes: carbohidratos, proteínas, grasas, vitaminas, minerales y agua. Se reconoce la función energética de los carbohidratos y las grasas, pero no la de las proteínas. Sin embargo, se establecen relaciones de causalidad entre el consumo prolongado de alimentos altamente energéticos con la obesidad, como es el caso de la hamburguesa representada en el modelo, así como el alto consumo de grasas. El Anexo 2 y el siguiente fragmento de entrevista, ilustran parte de las ideas que se acaban de expresar.

MLM: Bueno... según yo... lo amarillito esto que está aquí (MLM señala las líneas y manchas que ha dibujado en el contorno de la silueta humana sobre la que trabajó), en estas partecitas amarillitas que están así, son la acumulación de grasa que hay en el cuerpo de esta mujer.

Ent.: ¿Por qué pensaste que era importante dibujar la acumulación de grasa?

MLM: Porque es una mujer que tiene obesidad.

Ent.: Ok y, entonces, ¿qué es para ti eso de la obesidad?

MLM: ↪Mmm que es una enfermedad que la causa... <MÁS BIEN QUE ES CAUSADA POR EL EXCESO DE GRASA>.

Ent.: Ok y... (MLM interrumpe a Ent., señalando los alimentos que ha dibujado: un tazón con caldo de pollo con arroz –que contiene grasa– y una hamburguesa).

MLM: Éstos son los alimentos que ha consumido o que va a consumir, ¿no? [5-17].

En este modelo se hace un reconocimiento detallado de las funciones plásticas de las proteínas, la figura 7 y los siguientes fragmentos de entrevista sustentan la idea que acabamos de expresar.

Ent.: ¿Qué otro tipo de materiales pueden tener aparte de los carbohidratos?

MLM: ↪Las proteínas que hacen que los músculos... este... se::: formen y que haya... cuando nos cortemos o algo así este... se vuelva a formar el tejido de nuestra piel y así, ¿no? [35-38].

Ent.: ↪¿Y crees que eso también requiera de energía?

MLM: ↪Yo creo que sí... o, si alguna célula se murió necesitamos proteínas para volver a generarla [653-655].

El reconocimiento de que las proteínas tienen la propiedad de renovar, reparar y formar células abre la posibilidad de ampliar la explicación del incremento de grasa corporal pues, para advertir el aumento de tamaño y multiplicación de los adipocitos, se requiere reconocer la participación de las proteínas en el crecimiento y multiplicación celular.

Por otra parte, en este modelo no se reconoce que las vitaminas carecen de energía y no pueden ser transformadas en grasa. Esta idea se ilustra con el siguiente fragmento de entrevista:

Ent.: ↪Ok. Entonces, esa... ¿Eso que sobra no simplemente es grasa?

MLM: ↯No.

Ent.: ↯¿Qué puede ser también?

MLM: ↯<Vitaminas, minerales, carbohidratos... proteínas>.

Ent.: ↯O sea, ¿tú crees que las vitaminas se pueden convertir en grasa?

MLM: ↯Este, sí, ¿no? [576-581].

Lo anterior explica por qué en el modelo analizado se señala que todo los nutrientes, incluidas las vitaminas –se infiere que los minerales también–, son transformados en grasa cuando están en exceso.

Si bien, no contamos con más datos, la idea expuesta nos permite conjeturar que en el modelo se generaliza la noción de que cualquier nutriente consumido más allá de los requerimientos corporales, es transformado en grasa, lo cual es incompatible con el conocimiento científico, pues vitaminas, minerales y el agua natural no tienen propiedades energéticas y no pueden ser transformadas en grasas.

Por otro lado, vale la pena destacar que, en este modelo, los alimentos ya no se clasifican simplemente como alimentos “buenos” o “malos” y se ha abandonado la creencia de que, si algo es dañino a niveles altos, también es nocivo a niveles bajos, por ejemplo, la presencia de grasa en la dieta, lo que significa que en este modelo se reconoce la sensibilidad en las dosis de los alimentos.

Además, se distingue que es necesario incorporar en un plan de alimentación no sólo la carne por su contenido proteínico, sino también las verduras por su escaso contenido graso, así como cantidades mínimas de grasa. El reconocimiento que se hace en este modelo sobre la composición de los alimentos, las funciones de los nutrimentos que los constituyen y la sensibilidad en las dosis de los alimentos dan mayor posibilidad de explicar la obesidad y cómo combatirla, específicamente en lo relativo al tipo y cantidad de alimentos que se ingieren.

En los siguientes fragmentos de entrevista ilustramos las ideas que acabamos de exponer en los últimos tres párrafos:

Ent.: ↯¿Como qué alimentos tú le recomendarías a ella?

MLM: ↯Pues, verduras, carne (Ent. interrumpe a MLM)

Ent.: ↯¿Por qué verduras?

MLM: ↯Porque:::<porque> no sé, porque tienen... porque no tienen demasiada grasa, porque aparte de la grasa que ya tiene, pues sería darle grasa en pocas cantidades, pero sí darle porque también necesita |844-849|.

Ent.: Entonces, la razón por la que habría que darle bastantes verduras, ¿cuál sería?

MLM: ↯Es que... porque las verduras tienen pocas calorías.

Ent.: ↯Entonces al decir que las verduras tienen pocas calorías, es como si dijera...

MLM: ↯Poca energía |853-854|.

En efecto, reconocer los diferentes tipos de nutrientes contenidos en los alimentos y sus funciones es lo que permite a los sujetos comprender el significado de las cantidades de alimentos y nutrientes recomendados en las guías de alimentación, las recetas médicas, las etiquetas de los alimentos, las campañas de salud o los libros escolares, orientados a promover una alimentación adecuada y prevenir o combatir los excesos o las deficiencias provocados por hábitos de alimentación inadecuados.

b) ***Grado de articulación de los procesos de nutrición humana***, con este criterio se pretende valorar si en el modelo se articulan los aparatos digestivo, circulatorio y respiratorio para explicar la nutrición humana (Banet, 2008) y si se logra describir desde una perspectiva sistémica la acumulación de grasa corporal y la formación y eliminación de desechos, como resultado de la utilización-interacción entre los nutrientes y el oxígeno (Cañal, 2008; Pujol *et al.*, 2006; Rivadulla, 2013).

Para empezar, diremos que en este modelo se reconoce que los alimentos requieren ser “procesados”, “transformados” o “simplificados” en nutrientes (digestión), que son más “simples” y pueden ser absorbidos; transformación que inicia en la boca y termina en el intestino delgado, mediante la acción de diferentes jugos digestivos.

Se distingue que posterior a la digestión sucede la absorción, que es el paso de los nutrientes desde el intestino delgado a la circulación sanguínea, a través de las vellosidades intestinales. Esto es posible porque en el modelo se reconocen las propiedades de las vellosidades intestinales, en lo que se refiere a su estructura interna (este detalle anatómico puede verse en la figura 3).

A continuación, presentamos en la figura 13, un fragmento del MCEL en formato de texto, tomado de la figura 3, que da cuenta de estas aseveraciones (por razones de espacio evitamos ilustrar con fragmento de entrevista).

Figura 13. Fragmento del MCEL de 07-MLM, en formato de texto, que describe las relaciones causales entre entidades que dan cuenta de los procesos de digestión y absorción, tomado de la figura 3

El alimento entra por la boca, donde ^{que se produce en la} la saliva ^{glandula} ^{saliva} actúa sobre las almidones del arroz y los vuelve más sencillos ^{como con los dientes} y tal vez esta ayuda a hacer el bolo alimenticio, y pasa por el esófago hasta el estómago, (...)

(...) En el estómago, la comida o bolo alimenticio pasa por los jugos gástricos que actúan sobre las proteínas como las de la carne; en la entrada del intestino delgado ^(Hígado) está la balsa biliar (vecula biliar) que actúa sobre las grasas y las vuelve más simples, en el intestino las vellosidades intestinales absorben los nutrientes y se unen a la sangre (...)

Hasta aquí hemos descrito la primera articulación que se identifica en el modelo analizado, donde se reconoce la transformación de alimentos en nutrientes, y su incorporación y transporte a través de la sangre. En la figura 14 esquematizamos el proceso descrito.

Figura 14. Articulación de los aparatos digestivo y circulatorio mediante el proceso de absorción de nutrientes y su consecuente incorporación al torrente sanguíneo



Por otra parte, en el modelo se identifica la incorporación de oxígeno del aire y se reconoce que el aire inhalado penetra a las vías respiratorias desde la nariz hasta el interior de los pulmones y entra a los alvéolos pulmonares –que funcionan como receptáculos de oxígeno que tienen venas y arterias–. Se identifica a las venas como las entidades que “recogen” el oxígeno y que éste pasa a la sangre. El siguiente fragmento del protocolo de entrevista da cuenta de ello.

MLM: ↖ (Con la punta del lápiz MLM va señalando conforme va hablando) Llegaría aquí (MLM señala la sección del corazón que ha coloreado de azul) y después [la sangre] va a pasar a los pulmones, igual por venas.

Ent.: ↖ Por venas...

MLM: ↖ Y van a ir a los alvéolos pulmonares.

Ent.: Ah, que por cierto los has dibujado acá (Ent. señala una parte en el dibujo donde MLM ha utilizado como recurso explicativo un detalle ampliado de los alvéolos pulmonares).

MLM: ↖ Sí... que tienen oxígeno.

Ent.: Sí::y (MLM interrumpe a Ent.).

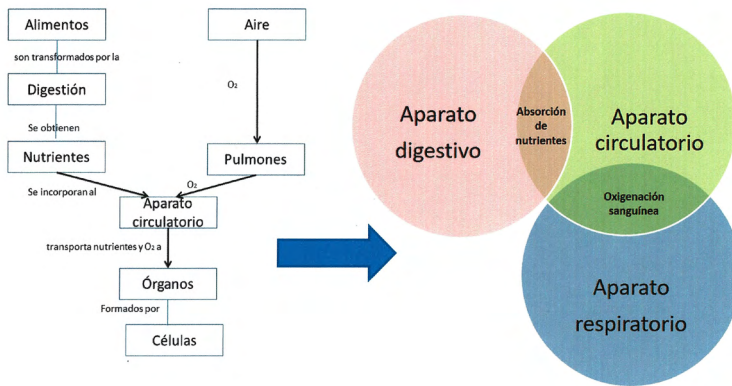
MLM: ↖ Y ahí [las venas] van a recoger el oxígeno y se va a pasar la sangre para la otra parte del corazón (MLM señala la parte del corazón que está pintada de rojo) [354-365].

Aunque en el modelo, dicho proceso queda a nivel descriptivo –porque la expresión “las venas recogen el oxígeno” no explica qué tipo de relaciones causa-efecto suceden entre el oxígeno, el alvéolo, la vena y la sangre que fluye para hacer posible la oxigenación de la sangre–, pero sí se reconoce que el oxígeno del aire contenido en los alvéolos pulmonares se incorpora a la corriente sanguínea para ser transportado y distribuido a las células del organismo. Por tanto, podemos decir que –aunque incipientemente– en el modelo se establece una segunda articulación entre los aparatos respiratorio y circulatorio.

En este modelo, también se infiere que si se examina la sangre de una persona, es posible encontrar nutrientes (minerales, vitaminas, agua, grasas, proteínas y agua) y oxígeno, porque la sangre los transporta por el cuerpo, a través de venas y arterias (véase figura 3 y Anexo 6).

Hasta este punto, podemos decir que al reconocerse en el modelo los procesos de incorporación del oxígeno atmosférico a la sangre a nivel alveolar e identificar la absorción y distribución de nutrientes, agua y oxígeno a todo el cuerpo, a través de la circulación sanguínea, se están identificando en el modelo tanto las entidades con sus propiedades, como las relaciones causales básicas para afirmar que el modelo analizado es un modelo articulado (Banet, 2008), porque hay una interdependencia morfológica y funcional entre los aparatos digestivo, circulatorio y respiratorio. En la figura 15 esquematizamos estas ideas.

Figura 15. Articulación de los aparatos digestivo, circulatorio y respiratorio a través de los procesos de: absorción-circulación-oxigenación sanguínea



c) *Identificación de las relaciones entre célula-nutrientes-oxígeno-producción y eliminación de desechos celulares*, con este criterio se pretende juzgar si en el modelo se reconoce elementalmente, por una parte, la interacción entre nutrientes y oxígeno en órganos/células, que resulta en la transformación de unas sustancias en otras completamente diferentes, con la consecuente liberación de energía, formación de materiales indispensables para el adecuado funcionamiento corporal y, por otra, que los desechos celulares también son resultado de las diferentes transformaciones.

En el modelo se reconoce que nutrientes, agua y oxígeno llegan a las células, transportados por la sangre y, una vez en las células, el oxígeno “libera” la energía de los nutrientes, para que los órganos puedan funcionar y obtener lo necesario para la renovación celular. El siguiente fragmento de entrevista alude a estas relaciones reconocidas en el modelo.

Ent.: ↪¿Qué va a llegar a las células?

MLM: ↪Los nutrientes.

Ent.: ↪¿Solamente?

MLM: ↪Y el agua y la sangre y <el oxígeno>.

Ent.: Entiendo que ¿la sangre va recorriendo y llega?

MLM: Ajá

Ent.: Lleva todo eso... ¿sí?

MLM: Sí

Ent.: ↯Y la célula, ¿qué va a hacer?... ya tiene nutrientes, oxígeno y agua.

MLM: ↯Y con el oxígeno es cuando se libera la energía... ¡ENERGÍA!

Ent.: ↯¿De dónde se libera la energía?

MLM: ↯<De los nutrientes> [412-423].

También se identifica que, como consecuencia de la “liberación” de energía por parte de los nutrientes, tras la intervención de oxígeno, se producen bióxido de carbono y otros desechos celulares que deben ser expulsados para evitar que el cuerpo se dañe; reconociendo la participación del aparato circulatorio para su transporte y de las vías pulmonar y renal para su eliminación. Los siguientes fragmentos de entrevista hacen referencia a estas relaciones reconocidas en el modelo.

Ent.: ↯Mmm...ya y, una vez que se libera la energía de los nutrientes, ¿hay alguna consecuencia de eso?

MLM: ↯Sí, se forman desechos... sería bióxido de carbono como un ejemplo y como que ya cuando regresa [la sangre], o sea, cuando ya no tiene oxígeno va a pasar a los pulmones donde va a dejar el bióxido de carbono y <ya va a salir por la nariz> [424-428].

Ent.: ↯Antes... ¿quién los transporta MLM?

MLM: ↯<la sangre>... sí [448-449].

Ent.: Y, ¿qué es lo que va a recoger?

MLM: ↯Este::, lo::s desechos líquidos y ° los desechos sólidos y todo eso...°

Ent.: ↯Y, este... lo que me dijiste hace un rato, ese gas [el bióxido de carbono]...

MLM: ↯Ajá, sí, lo libera porque es un desecho.

Ent.: ↯Y::: ¿Qué pasaría si esos desechos no se expulsan del cuerpo?

MLM: ↯Pues sería como una intoxicación para el cuerpo [452-458].

Ent.: ↯Muy bien, y ¿en el caso de los otros desechos que no son gases? (MLM interrumpe a Ent.).

MLM: ↯El agua, se iría por la sangre por, igual... por, a los:: riñones (MLM señala uno de los riñones).

Ent.: ↯O sea, que en algún momento, alguna arteria, vena, no sé qué pienses tú, ¿están conectados a los riñones?

MLM: Ajá, sí.

Ent.: ↯Y cuando la sangre pase por los riñones, ¿qué van a hacer los riñones?

MLM: ↯Van a como que a filtrar el agua que sirve de ahí y la que ya no sirve se va a formar la orina (...) [476-485].

Como puede observarse, en el MCEL aquí analizado, éste sostiene que los nutrientes se transforman en energía por acción del oxígeno, cuando lo que se produce es un cambio (químico), en el que unas sustancias se transforman en otras, y en el proceso se libera energía, se forman materiales necesarios para la reparación y renovación celular; en tanto que la producción de desechos es también resultado de dichas transformaciones.

Aunque el reconocimiento es bastante elemental y alejado un tanto del MCEA respecto de las relaciones entre células-nutrientes-oxígeno-producción y eliminación de desechos en este modelo, pone de manifiesto una visión más integral del funcionamiento del cuerpo humano. En la figura 16, se esquematiza la articulación entre los aparatos y los procesos clave que se reconocen en el modelo analizado.

d) ***Reconocimiento de la relación ingesta-gasto energético con la obesidad***, con este criterio se pretende valorar si en el modelo analizado se establecen relaciones de causalidad entre la ingesta-gasto energético con la obesidad.

Además, se infiere que si una persona consume continuamente más alimentos de los que su cuerpo necesita y no realiza actividad física o ésta es insuficiente, el hígado en coordinación con el páncreas transforma en grasa los nutrientes que no fueron utilizados, lo que conduce a la acumulación de reservas energéticas en forma de grasa, que se manifiesta como obesidad. Este componente del MCEL se muestra en la figura 17, el contexto del escrito puede apreciarse en el Anexo 9.

Figura 16. Articulación de los aparatos digestivo, circulatorio, respiratorio y urinario que se distinguen en el MCEL

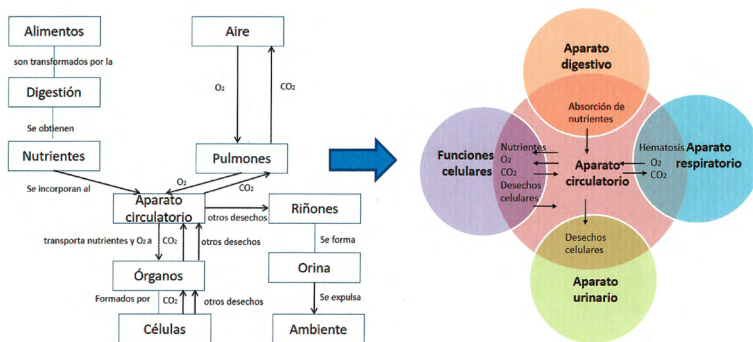


Figura 17. Inferencia “reconstruida” del MCEL de 07-MLM, a partir del texto que forma parte del Anexo 9

Fragmento del MCEL en formato texto	Inferencia reconstruida
<p>Que pepe cree que que la grasa es lo unico que le aia dano pero Luis le quiere explicar que todo ase daño en grandes cantidades, porque Luis pepe si come todo eso, los nutrientes los que necesita los va a ocupar y los demas el hígado con ayuda del páncreas lo que no necesita se convertira en grasa y como se demaciada actividad fisica [as reservas de gra no se van a utilizar eso lo lleva a la obesidad Si sigue continuamente comiendo lo mismo y no se ejercia y en vez de comer saludable ario lo contrario.</p>	<p>[S] un niño consume cotidianamente más alimentos de los que su cuerpo requiere para funcionar, usará sólo los nutrientes necesarios, [entonces] el hígado –con participación del páncreas– transformará en grasa los nutrientes que estén en exceso y si su actividad física es escasa o nula, después de un tiempo padecerá obesidad.</p>

Asimismo, se describe en términos biológicos –aunque muy elementales– la formación de grasa corporal a partir de precursores no lipídicos presentes en la dieta, cuando el consumo de alimentos excede los requerimientos energéticos del organismo. El siguiente fragmento de entrevista da cuenta de ello.

Ent.: Ok, decías... y esa sustancia... me dices hay una sustancia que envía el páncreas...

MLM: Ajá

Ent.: ¿Qué hace esa sustancia que envía el páncreas al hígado, MLM?... o sea, ¿cuál es la función de esa sustancia que envía el páncreas?

MLM: ↯Que:: le..., como que le dijera al hígado, que ya todas las partes del cuerpo ya tienen sus nutrientes completos, entonces, el pán::creas... °sí, el páncreas°, no, digo= ¡EL HÍGADO!, hace que los nutrientes se conviertan en grasa para que sea una reserva y ya no tengan demasiados... más nutrimentos de los que necesitan las demás partes del cuerpo.

Ent.: ↯Ok... bueno, entonces sirve precisamente para que el hígado forme, me dijiste, ¿qué?

MLM: ↯Grasa

Ent.: ↯Grasa, entonces ¿qué condiciones deben de haber para que el hígado actúe de esa manera?... ¿para que empiece a formar grasa?

MLM: ↯Ah... que ya todas las partes del cuerpo tengan sus nutrientes...

Ent.: ↯Que ya todos tengan sus nutrientes y... entonces ¿si siguen llegando más nutrimentos, quiere decir entonces que ya están un poco... digamos...?

MLM: ↯Sobrepasados.

Ent.: ↯¿Sobrepasados?, o sea, digamos dicho de otro modo, ¿están en exceso?... ¿Estoy entendiendo bien?

MLM: ↯Ajá.

Ent.: ¿Sólo entonces... el hígado empieza a hacer esto...?

MLM: ↯A hacer grasa [239-262].

En el modelo se reconocen relaciones causales desde una perspectiva biológica elemental: cómo la actividad física contribuye al gasto energético. En la figura 18 se muestran estas relaciones, apenas incipientes, tomadas del Anexo 8.

Figura 18. Fragmento del MCEL de 07-MLM que muestra incipientemente la relación: actividad física-gasto energético tomado del Anexo 8

1. ¿Por qué tienes que respirar con mayor frecuencia cuando haces ejercicio físico que cuando tu cuerpo descansa?

por que cuando haces ejercicio gastas mas energia en los musculos y tienes que respirar mas para que entre mas oxigeno a la sangre y libere la energia en las celulas que contienen nutrimentos.

De igual manera, se identifica que para combatir la obesidad es preciso realizar actividad física para usar la grasa como fuente de energía —como ya se mencionó—, consumir verduras que son alimentos que tienen poca grasa y reducir el consumo de grasa, ya que ésta tiene grandes cantidades de energía. Los siguientes fragmentos de texto y entrevista, ilustran estas ideas.

Ent.: ↯Ahora, mmm::: háblame... ¿Podrías detallarme un poquito más de cómo es que se formó el exceso de grasa de esta chica?

MLM: ↯Ah::: por...

Ent.: ¿En qué momento ocurrió me decías?

MLM: <Pues por no hacer ejercicio, uno> y dos porque come demasiada GRASA y no la ocupa... <demasiada energía y no la utiliza>. (MLM señala en su dibujo líneas amarillas que representan la grasa) [562-568].

Ent.: (,,,)... ¿Algo que quieras agregar MLM?, te lo pregunto porque dijiste: es que no hace ejercicio.

MLM: ↯Es porque no se gastaría la energía.

Ent.: ↯O sea, ¿tú crees que esta chica va a quedarse ya de por vida siendo obesa, o habrá alguna solución para que deje de serlo?

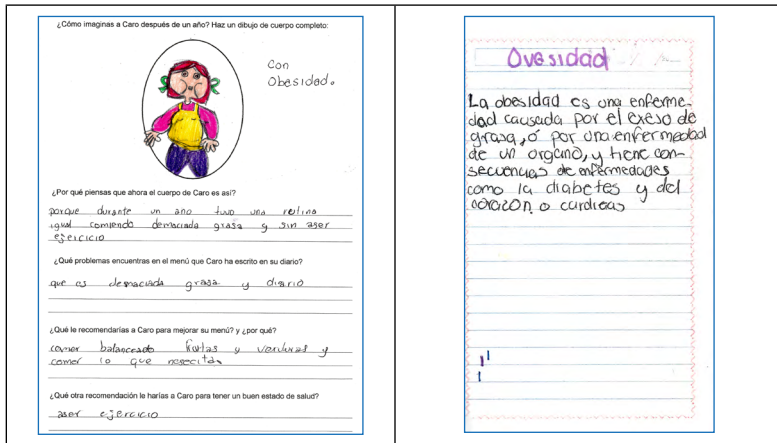
MLM: ↯Pues si hace ejercicio, puede... puede quemar las calorías, las que tiene de exceso en su cuerpo y así podría bajar de peso.

Ent.: ↯Ajá, ¿de dónde obtendría la energía?, digamos, ¿cuál sería su fuente de energía?

MLM: ↯De la grasa [582-591].

En este modelo se reconoce la obesidad como una enfermedad causada por la presencia excesiva de grasa corporal, como consecuencia de un alto consumo de grasa y del sedentarismo, por tiempo prolongado. Lo cual nos permite inferir que en el modelo se está reconociendo un mayor consumo energético frente a menor gasto, sostenido por tiempo prolongado. En la figura 19, se muestran dos fragmentos de texto procedentes de los anexos 5 y 11 que dan cuenta de las ideas que se acaban de expresar.

Figura 19. Textos y dibujo correspondientes al MCEL de 07-MLM que forman parte de los anexos 5 y 11



Igualmente, en el modelo se infiere que la grasa corporal contiene altas concentraciones de energía reservada, es decir, no utilizada, que causa diabetes o enfermedades cardíacas. Incluso se considera que las altas concentraciones de grasa en sangre, pueden derivar en una obstrucción que impida el libre paso de la sangre a través de venas o arterias.

En este sentido, la obesidad puede ser considerada a veces como una enfermedad, "...cuando interfiere con una o más de las funciones características de nuestra especie. Además, aunque todavía no tenga este efecto aparente, la obesidad sigue siendo un problema de salud, como factor de riesgo de otras enfermedades" (Salazar *et al.*, 2015, p. 27), como infarto del miocardio, diabetes mellitus tipo 2 o algunos tipos de cáncer.

CONCLUSIONES

La comparación entre el MCEL y el MCEA para el caso presentado nos muestra que los sistemas ontológicos de ambos presentan más similitudes que discrepancias, particularmente en cuanto a

las entidades. Sin embargo, las imprecisiones se incrementan en el MCEL cuando se analizan las propiedades de entidades que demandan un nivel mayor de abstracción, como es el caso de la estructura alveolar y su relación con el intercambio de gases a nivel pulmonar, por ejemplo.

En cuanto al componente epistemológico (relaciones causa-efecto) se ubican más semejanzas entre los modelos comparados en el nivel descriptivo que explicativo. Sin embargo, la proximidad entre ambos modelos es mayor cuando se comparan las inferencias generalizadas.

Respecto a la valoración del MCEL, a partir de los cuatro criterios analíticos previstos, podemos decir que en el modelo analizado se reconocen aspectos relevantes en la explicación del fenómeno de la obesidad humana. Entre ellos que la estudiante 07-MLM:

- Reconoce que los alimentos contienen seis diferentes tipos de nutrientes, que realizan diferentes funciones en el organismo y le suministran energía y materiales necesarios para su funcionamiento, crecimiento, renovación y reparación.
- Identifica entidades y relaciones causales que permiten describir la absorción de nutrientes, el intercambio de gases entre los alvéolos pulmonares y la sangre; es decir, reconoce el intercambio de gases entre el medio externo y el interno a través de la sangre, así como el intercambio de diferentes elementos entre sangre y células, como son los productos de la excreción celular. De esta manera, podemos decir que la estudiante en cuestión identifica la circulación sanguínea como mecanismo biológico que articula distintos procesos involucrados en la nutrición, lo que le permite tener una visión más integrada del funcionamiento del cuerpo humano.
- Registra que si bien las células/órganos/cuerpo como destinatarias de nutrientes y oxígeno son entidades que interactúan y hacen posible la obtención de energía y elementos para la reparación, renovación y crecimiento celular, con

la consecuente formación de desechos eliminados por vía pulmonar y renal, no se alcanza a consolidar la idea de que en el proceso de nutrición y formación de grasa corporal, se producen innumerables cambios (químicos), en los que unas sustancias se transforman en otras completamente diferentes y en cuyo proceso se libera energía y se forman materiales necesarios para la reparación/renovación celular, y además que la producción de desechos es también resultado de dichas transformaciones.

- Trata la obesidad como una enfermedad causada por el almacenamiento de reservas energéticas en forma de grasa corporal, como consecuencia de un mayor consumo de alimentos y grasa frente a un menor gasto sostenido por tiempo prolongado, pero que es posible abatir –en algunos casos– mediante la actividad física y una alimentación integrada por alimentos bajos en energía.

Los resultados presentados nos permiten concluir que la estudiante 07-MLM logró el MCEA postulado –y por lo tanto considerado “alto”– si bien éste no fue alcanzado en su totalidad.

Pensamos que el MCEA es una herramienta metodológica de gran potencialidad cuando en una investigación se pretende caracterizar los modelos logrados por los estudiantes después de una intervención didáctica, porque facilita los procesos de obtención, construcción y organización de datos, así como su sistematización para su análisis.

También en el MCEA está claramente definida la unidad de análisis y las categorías analíticas que permiten examinar punto a punto los modelos involucrados en la investigación y hacer comparaciones entre ellos. Además, contribuye a formular criterios analíticos para valorar los resultados. Asimismo, consideramos que con esta aportación dejamos trazada una ruta metodológica para el tratamiento de datos y el análisis de resultados cuando se utiliza el MCEA como dispositivo que orienta el diseño de una SD y se analizan los

MCEL contruidos por los estudiantes, con una definición operacionabilizable de modelo, como la aquí utilizada.

No obstante, este trabajo presenta algunas limitaciones tales como el tiempo –relativamente largo– que presupone la formulación del MCEA, dado el nivel de desglose que se requiere hacer de todos sus constituyentes. También representa un reto concentrar todos sus elementos en un formato que sea de fácil lectura y económico en su presentación; por lo que seguiremos trabajando para lograr una representación menos prolija, probablemente de carácter gráfico.

De igual manera, el MCEA diseñado para explicar el fenómeno de la obesidad resultó exhaustivo desde su elaboración. La gran cantidad de datos obtenida, así como el tratamiento de la información, resultó de difícil manejo dada su magnitud. Esta limitación podría subsanarse al desagregar los MCEA que subyacen en esta propuesta, como son: el modelo sistémico de ser vivo, el modelo de enegía, el modelo de cambio químico, el modelo de nutrición para finalmente modelizar el fenómeno de la obesidad; prestando atención a su gradualidad y atendiendo el nivel de abstracción que cada uno de estos modelos exigen del estudiante. Por esta razón pudiese ser pertinente presentarlos –para fines de investigación– por separado y luego articularlos para dar cuenta del fenómeno de la obesidad humana.

ANEXO 1

Notación especial utilizada en las transcripciones de las entrevistas⁹

La división de los protocolos de entrevista en líneas es arbitraria y responde a la automatización del procesador de textos utilizado. La simbología contribuye a una mejor interpretación del contexto durante la entrevista.

MLM	Siglas que identifican al/la estudiante. Las primeras dos letras corresponden a las iniciales del nombre y la tercera al sexo (H= hombre, M=mujer), mujer en este caso.
Ent.	Entrevistadora
^	Indica elevación de la entonación.
/	Indica caída de la entonación.
↪	Indica frase significativa para el análisis.
°°	Indica un pasaje de habla de menor intensidad que el habla adyacente.
MAYÚS.	Indica un pasaje de habla de mayor intensidad que el habla adyacente.
[]	Notas agregadas por la transcritora, generalmente para hacer más inteligible la expresión.
()	Comentarios de la transcritora, generalmente observaciones sobre el contexto de la conversación.
< >	Indica un pasaje de habla más rápido que el circundante.
> <	Indica un pasaje de habla más lento que el circundante.
:::	Indica elongación del énfasis en un sonido.
//	Indica habla sobrepuesta; el/la estudiante y Ent. hablan simultáneamente.
Subr.	Indica énfasis especial dentro de la frase.
...	Pausa perceptible.
=	Habla ligada a la anterior sin el lapso habitual en las conversaciones.
¿, ¡	Indican pausa o entonación al final de una frase/pregunta o una admiración, más que un signo de puntuación.
[36-38]	Indica el intervalo citado de los números de línea que corresponden al protocolo de la entrevista, en este caso de la línea 36 a la 38.

⁹ Nomenclatura adaptada de Candela (2001).

ANEXO 2

Fragmento del protocolo de entrevista realizada a 07-MLM, en el que se recuperan sus explicaciones del Proceso 1. Transformación de alimentos en nutrimentos-ingestión

Ent.: Estamos aquí con MLM para conversar sobre este asunto tan importante que es precisamente la nutrición del cuerpo humano. A ver MLM, ¿me quieres platicar qué estamos viendo en tu dibujo? (Ent. le presenta a MLM su dibujo realizado al final de la secuencia didáctica).

MLM: Bueno... según yo...lo amarillito esto que está aquí (MLM señala las líneas y manchas que ha dibujado en el contorno de la silueta humana sobre la que trabajó), en estas partecitas amarillitas que están así, son la acumulación de grasa que hay en el cuerpo de esta mujer.

Ent.: ¿Por qué pensaste que era importante dibujar la acumulación de grasa?

MLM: Porque es una mujer que tiene obesidad.

Ent.: Ok y, entonces, ¿qué es para ti eso de la obesidad?

MLM: ↯Mmm::: que es una enfermedad que la causa... <MÁS BIEN QUE ES CAUSADA POR EL EXCESO DE GRASA>.

Ingestión de alimentos

Ent.: Ok y... (MLM interrumpe a Ent., señalando los alimentos que ha dibujado: un tazón con caldo de pollo con arroz y una hamburguesa).

MLM: Éstos son los alimentos que ha consumido o que va a consumir ¿no?

Ent.: Ok, entonces, ¿tú crees que es importante que esta chica consuma alimentos?

MLM: Sí

Ent.: ¿Por qué?

MLM: ↯Porque si no se nutre no tiene los nutrientes para poder darle la energía al cuerpo y para que funcione bien, o funciona:::r <correctamente>.

Ent.: Ok. ¿Solamente comemos para tener energía? o ¿Para qué otra cosa sirve todo lo que hay en comida?

MLM: Para:::... pues... pues...

Ent.: ¿Sólo nos da energía?

MLM: No

Ent.: ¿Qué otra cosa nos proporcionan los alimentos?... ¿tú crees que haya algo en los alimentos...? (MLM interrumpe a Ent.).

MLM: Sí

Ent.: Que nos ayude a tener esa energía, hacer que nuestro cuerpo funcione bien...?

Ent.: ¿Cómo qué MLM?

MLM: ↪ Como los carbohidratos que nos dan energía.

Ent.: ¿Qué otro tipo de materiales pueden tener aparte de los carbohidratos?

MLM: ↪ Las proteínas que hacen que los músculos...este... se::: formen y que haya...cuando nos cortemos o algo así este... se vuelva a formar el tejido de nuestra piel y así ¿no?...

Ent: Muy bien...me has hablado ahorita de los carbohidratos, me hablaste de las proteínas... ¿conoces algún otro?

MLM: ↪ La grasa... que ayuda a transportar o liberar algunas vitaminas para que <no se queden atascadas> y ayuda a otras cosas que <ya no me acuerdo>.

Ent.: Ajá, pero entiendo que alguna función tienen las grasas... (MLM interrumpe a Ent).

MLM: Ajá.

Ent.: ¿Aparte de la grasa y las vitaminas?... ya tenemos, bueno... me hablaste de carbohidratos, proteínas, grasas, este::: vitaminas...

MLM: ↪ ^Faltan los miren... miren... (MLM ríe), minerales.

Ent.: Los minerales, ok, que son otro grupo.

MLM: <Que son como el calcio que nos ayudan a los huesos> y el agua que nos ayuda a hidratarnos a que... porque todo nuestro cuerpo tiene agua.

Ent.: Y, ¿crees que estos nutrimentos de los que me acabas de hablar estén en alguna parte de nuestro cuerpo?

MLM: Sí

Ent.: Cómo por ejemplo, ¿en dónde?

MLM: En el cerebro, en::: el cora::: zón...en los pulmones, los riñones, en el estómago, en el páncreas.

Ent.: Ok... (MLM interrumpe a Ent).

MLM: ↪ También hay en nuestro cuerpo mucha agua..., EN LAS CÉLULAS!

Ent.: ¡Qué interesante! y, ¿qué es eso que llamas células?

MLM: ↯ Son partes muy chiquitas que están en nuestro cuerpo.

Ent.: Y::: ¿En qué parte de nuestro cuerpo las podemos encontrar?

MLM: En todas partes porque todos los seres vivos están formados de células.

Ent.: Ok, entonces, me decías que::: las células están formadas en gran parte de agua. ¿Sí?, ¿entendí bien?

MLM: Sí:::

Ent.: Además... bueno, ya me dijiste que (MLM interrumpe)

MLM: <En la piel>.

Ent.: En la piel... ¿Qué?

MLM: En la piel también hay agua.

Ent.: Ah, ok.

MLM: EN LA SANGRE.

Ent.: Ok... ¿Por qué en la sangre?

MLM: ↯ Porque la sangre es líquida, o sea, que debe de tener agua y también para que pueda transportar fácilmente por las venas.

Ent.: Ok, o sea, que ahí [en la sangre] hay gran cantidad de... (MLM interrumpe a Ent.)

MLM: Agua

Ent.: Agua... y, nuestro cuerpo necesita por supuesto como ya dijiste nutrirse para que se cumplan ciertas condiciones... Me decías hace un ratito algo muy interesante... ¿Cómo se llaman esas partes tan minúsculas... tan pequeñas y que nuestro cuerpo está formado por muchísimas de ellas?

MLM: Células

Ent.: Ok. Entonces aquí, ya me has hablado de varios materiales tan importantes como (MLM interrumpe a Ent.).

MLM: El agua

Ent.: El agua, ok... hablaste también de las proteínas, los carbohidratos, las grasas, también de vitaminas y minerales... ¿En dónde los encontramos?

MLM: En la mayoría del cuerpo.

Ent.: Pero fuera del cuerpo, ¿dónde lo encontramos?

MLM: En la piel y en el cabello.

Ent.: Y más allá de nuestro cuerpo?

MLM: ↯ En los alimentos.

Ent.: ↯Entonces, debo pensar que en la composición... ¿Habría alguna semejanza entre la composición de los alimentos y la composición de nuestro cuerpo?

MLM: Sí, porque también están formados por células animales o vegetales... que tienen igual ¿no?

Ent.: Ajá, o sea, y ¿en nuestro cuerpo tenemos alguna reserva de proteínas?

MLM: Este:::, ¿Proteínas?... sí, en los músculos.

Ent.: ↯Mmm, ya. Y::: ¿qué otro nutrimento estaría presente en nuestro cuerpo aparte de la proteína en los músculos?

MLM: ↯Este... la grasa

Ent.: Aquí en tu dibujo ¿la has representado de alguna forma?

MLM: Sí, de color amarillo.

Ent.: Podrías ponerle su nombre, porque creo que no lo encuentro?, o no lo supe buscar.

MLM: Creo que no está.

Ent.: ¿Podrías ponerlo, por favor? (MLM escribe)

MLM: Grasa (MLM va pronunciando mientras escribe).

Ent.: Ajá, entonces... la grasa también cumple alguna función que ya me dijiste.

MLM Ajá

Ent.: Ok, Bueno y ¿habrá carbohidratos en nuestro cuerpo?

MLM: Sí... en::: pues, en el cabello hay carbohidratos... bueno... yo creo.

Ent.: ¿Tú crees?

MLM: De hecho, la mayoría está formado por carbohidratos... bueno, pienso que todo tiene de todo (MLM ríe).

Ent.: ↯Ajá... ok. Todo tiene de todo... ¿Crees que una célula tenga proteínas, tenga grasas...?, todo lo que me dijiste que hay en los alimentos... ¿Como por ejemplo, ¿qué?

MLM: ↯<Como por ejemplo, los carbohidratos, las proteínas, las grasas, los minerales, las vitaminas y el agua>.

Ent.: O sea que ¿una célula tendrá todo eso?

MLM: Sí. [01-121].

ANEXO 3A

Fragmento de la tabla de codificación correspondiente al Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL de la estudiante 07-MLM.
Proceso I. Ingestión. Constituyente del MCEL: entidades con propiedades

PRO- CESO	ENTI- DADES	SUBENTIDADES	DIBUJO	FUENTES DE INFORMACIÓN		ENTIDADES CON PROPIEDADES (SÍNTESIS)
				TEXTO	ENTREVISTA	
NGESTIÓN DE ALIMENTOS	Boca		✓	"El alimento entra por la boca (...)"	Ent.: Ok y... (MLM interrumpe a Ent., señalando los alimentos que ha dibujado: un tazón con caldo de pollo con arroz y una hamburguesa). MLM: Éstos son los alimentos que ha consumido o que va a consumir, ¿no? [15-17].	
	Alimentos Hamburguesa		✓	"Hamburguesa" "caldo de pollo con arroz"	Ent.: "¿ Entonces, debo pensar que en la composición... ¿Habría alguna semejanza entre la composición de los alimentos y la composición de nuestro cuerpo?" MLM:ASI, porque también están formados por células animales o vegetales... que tienen igual, ¿no? [93-96].	
	Caldo de pollo	Nutrientes complejos	X		MLM: Porque si no se nutre no tiene los nutrientes para poder darle la energía al cuerpo y para que funcione bien, o funcione... <correctamente> [21-22].	
	arroz	Carbohidratos	X		Ent.: ¿Qué otra cosa nos proporcionan los alimentos?... ¿tú crees que haya algo en los alimentos...? (MLM interrumpe a Ent.) MLM: Sí Ent.: Que nos ayude a tener esa energía, hacer que nuestro cuerpo funcione bien...?	

Clave: Representado ✓ No representado X

PRO- CESO	ENTI- DADES	SUBENTIDADES	FUENTES DE INFORMACION		ENTIDADES CON PROPIEDADES (SÍNTESIS)
			TEXTO	ENTREVISTA	
		Proteínas	<p>"(...) las proteínas como las de la carne (...)"</p> <p>"(...) Las proteínas son las que nos ayudan a crecer, a reparar los tejidos dañados, a la formación de células, (...)"</p>	<p>Ent.: ¿Cómo qué, MLM?</p> <p>MLM: Como los carbohidratos que nos dan energía [28-34]</p> <p>MLM: Las proteínas que hacen que los músculos...este... se:: formen y que haya... cuando nos corremos o algo así este... se vuelva a formar el tejido de nuestra piel y así ¿no?... [36-38].</p> <p>MLM: La grasa... que ayuda a transportar o liberar algunas vitaminas para que <no se queden atascadas> y ayuda a otras cosas que <ya no me acuerdo> [41-42].</p>	<p>Las proteínas forman los músculos y reparan tejidos dañados por: heridas, "ayudan" a crecer, forman células.</p> <p>Las grasas proporcionan energía y transportan vitaminas para evitar que éstas se estancuen.</p>
		Grasas	<p>"(...) La grasa transporta vitaminas y ayuda a (que) proteger al cuerpo de algunas caídas (...)"</p>	<p>MLM: ¿Faltan los mirina...mirina... (MLM rió...), los minerales!</p> <p>Ent.: Los minerales, ok, que son otro grupo.</p> <p>MLM: <Que son como el calcio que nos ayudan a los huesos> y el agua que nos ayuda a hidratarnos a que... porque todo nuestro cuerpo tiene agua. [48-51].</p> <p>Ent.: ↗ En especial los carbohidratos, ok, y::: ¿qué entientes tú por procesar?</p> <p>MLM: ↗ Que los vuelvan simples.</p>	<p>Los minerales como el calcio ayudan a los huesos.</p> <p>El agua hidrata los diferentes órganos porque todo el cuerpo tiene agua. Recupera el agua perdida, transporta nutrientes a la sangre y células, y algo más.</p>
		Vitaminas y Minerales		<p>Ent.: ↗ Y, ¿por qué tienen que volverse más simples?</p> <p>MLM: ↗ Porque los nutrientes hay dos grupos, que son los simples y los complejos. Los simples son los que pueden pasar así por nuestro cuerpo sin ningún proceso y los complejos, lo dice su nombre, que son más complejos, que están conformados de varios y tienen que ser procesados para hacerse más simples.</p>	<p>Los nutrientes simples no requieren ser procesados para ser absorbidos.</p>
		Calcio	<p>"(...) el agua recupera el agua que perdemos, para transportar nutrientes a la sangre y células, etc..."</p>	<p>Ent.: ↗ ¿qué pasaría si no se hacen simples?</p> <p>MLM: ↗ Pues no los absorbería el intestino delgado y entonces se haría un desecho para nuestro cuerpo [138-147].</p>	<p>Los nutrientes complejos están formados de "varios" requieren ser procesados por el organismo para ser absorbidos, si esto no pasa serían desechos.</p>
		Agua		<p>Ent.: Ajá, ¿de dónde obtendría las calorías?, ¿dijimos ¿cuál sería su fuente de energía?</p> <p>MLM: De la grasa [602-604].</p>	<p>Los nutrientes proporcionan al cuerpo energía y todo lo necesario para que éste funcione adecuadamente. Vitaminas y minerales, con excepción del agua, son "reguladores" y "ayudan" a carbohidratos, proteínas y grasas a desempeñar sus funciones.</p>

Clave: Representado ✓ No representado X

ANEXO 3B

Fragmento de la tabla de codificación correspondiente al Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL de la estudiante 07- MLM

PRO- CESO	ENTIDA- DES	SUBENTIDADES	DIBUJO	TEXTO	FUENTES DE INFORMACIÓN		ENTIDADES CON PROPIEDADES (SÍNTESIS)
					ENTREVISTA		
I. INGESTIÓN DE ALIMENTOS	Cuerpo	Corazón	✓	"corazón"	Ent.: Y, ¿Crees que estos nutrimentos de los que me acabas de hablar estén en alguna parte de nuestro cuerpo?		El cuerpo [humano] es un ser vivo y está formado de células.
		Cerebro	✓	"Pulmones"	MLM; SÍ		
		Pulmones	✓	"Riñon"	Ent.: Como, por ejemplo, ¿en dónde?		
		Riñones	✓	"estomago"	MLM; En el cerebro, ent.: el cora:: zón... en los pulmones, los riñones, en el estómago, en el páncreas.		
		Estómago	✓	"selulas"	Ent.: Ok... (MLM interrumpe a Ent.)		
		Células			MLM; " También hay en nuestro cuerpo mucha agua... EN LAS CÉLULAS!		Las células son partes muy pequeñas formadas por nutrientes: agua, proteínas, carbohidratos, vitaminas, minerales y carbohidratos.
		Piel			Ent.: ¿Qué interesante! y, ¿Qué es eso que llamas células?		
		Cabello			MLM; " Son partes muy chiquitas que están en nuestro cuerpo.		
		Músculos			Ent.: Y:: ¿En qué parte de nuestro cuerpo las podemos encontrar?		Los órganos del cuerpo están formados de todo tipo de nutrientes.
		Grasa [corporal]			MLM; En todas partes porque todos los seres vivos están formados de células.		
					Ent.: Ok, entonces, me decías que::: las células están formadas en gran parte de agua. ¿SÍ? ¿Entendí bien?		
					MLM; SÍ:: [S2-66]		
					Ent.: Ok. Entonces aquí, ya me has hablado de varios materiales tan importantes como (MLM interrumpe a Ent.)		

Clave: Representado ✓ No representado X

PRO- CESO	ENTIDA- DES	SUB- ENTIDADES	FUENTES DE INFORMACIÓN		ENTIDADES CON PROPIEDADES (SÍNTESIS)
			DIBUJO	ENTREVISTA TEXTO	
				<p>MLM: ↗ En los alimentos. Ent.: ↗ Entonces, debo pensar que en la composición... ¿Habría alguna semejanza entre la composición de los alimentos y la composición de nuestro cuerpo? MLM: ASÍ, porque también están formados por células animales o vegetales... que tienen igual ¿no? Ent.: Ajá, o sea y ¿en nuestro cuerpo tenemos alguna reserva de proteínas? MLM: Este... ¿Proteínas?... sí, en los músculos. Ent.: ↗ Mmm, ya... ¿Qué otro nutrimento estaría presente en nuestro cuerpo aparte de la proteína en los músculos? MLM: ↗ Este... la grasa [83-101] Ent.: Ok Bueno y ¿habrá carbohidratos en nuestro cuerpo? MLM: Sí... en... pues, en el cabello hay carbohidratos... bueno... yo creo. Ent.: ¿Tú crees? MLM: De hecho, la mayoría está formado por carbohidratos... bueno, pienso que todo tiene de todo (MLM ríe). Ent.: ↗ Ajá... ok. Todo tiene de todo... ¿Crees que una célula tenga proteínas, tenga grasas...? todo lo que me dijiste que hay en los alimentos... Como por ejemplo ¿qué? MLM: ↗ <Como por ejemplo los carbohidratos, las proteínas, las grasas, los minerales, las vitaminas y el agua>. Ent.: O sea que ¿una célula tendrá todo eso? MLM: Sí [110-121] Ent.: ¿Dónde se reservan proteínas? MLM: En todos los órganos [268-269]</p>	

Clave: Representado ✓ No representado X

ANEXO 3C

Fragmento de la tabla de codificación correspondiente al Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL de la estudiante 07- MLM.
Proceso I. Transformación de alimentos en nutrientes-ingestión. Constituyente del MCEL: relaciones entre entidades

PRO- ENTIDA- CESO	SUBENTIDADES	FUENTES DE INFORMACIÓN			RELACIONES ENTRE ENTIDADES (SÍNTESIS)
		DIBUJO	TEXTO	ENTREVISTA	
INGESTIÓN DE ALIMENTOS	Alimentos	✓	"El alimento entra por la boca (...)"	MLM: En la boca, donde (Ent: interrumpe). Ent.: ¿Qué hay en la boca? MLM: En la boca, donde los alimentos son masticados (...) [133- 135] Ent.: Ok y... (MLM interrumpe a Ent., señalando los alimentos que ha dibujado: un tazón con caldo de pollo con arroz y una hamburguesa). MLM: Éstos son los alimentos que ha consumido o que va a consumir ¿no? Ent.: Ok, entonces, ¿tú crees que es importante que esta chica consuma alimentos? MLM: Sí Ent.: ¿Por qué? MLM: Porque si no se nutre no tiene los nutrientes para poder darle la energía al cuerpo y para que funcione bien, o funcione... <correctamente>. Ent.: Ok. ¿Solamente comemos para tener energía? o ¿para qué otra cosa sirve todo lo que hay en la comida? MLM: Para ... pues... pues... Ent.: ¿Solo nos da energía? MLM: No Ent.: ¿Qué otra cosa nos proporcionan los alimentos?... ¿tú crees que haya algo en los alimentos...? (MLM interrumpe a Ent.) MLM: Sí Ent.: ...que nos ayude a tener esa energía, hacer que nuestro cuerpo funcione bien...? (MLM afirma con la cabeza)	Los alimentos entran por la boca. Al consumir alimentos, el cuerpo se nutre. Si se consumen alimentos, el cuerpo obtiene nutrientes como carbohidratos y grasas que le proporcionan energía para funcionar adecuadamente. Alimentos como la carne, proporcionan al cuerpo proteínas que forman músculos y lo necesario para reparar heridas. La grasa también transporta o libera vitaminas, evitando que queden estancadas [en sangre] El calcio de los alimentos "ayuda" a los huesos.
	Nutrimiento	X			
	Carbohidratos	X			
	Proteínas	X			
	Grasas	X			
	Vitaminas	X			

Clave: Representado ✓ No representado X

PRO- ENTIDA- CESO	SUBENTIDADES	FUENTES DE INFORMACIÓN		RELACIONES ENTRE ENTIDADES (SÍNTESIS)
		DIBUJO	ENTREVISTA	
Boca	Minerales Calcio Agua	✓	<p>Ent.: ¿Cómo qué, MLM?</p> <p>MLM: Como los carbohidratos que nos dan energía [15-34].</p> <p>MLM: Las proteínas que hacen que los músculos...este... se... formen y que haya... cuando nos cortemos o algo así este... se vuelva a formar el tejido de nuestra piel y así ¿no?... [36-38].</p> <p>MLM: La grasa... que ayuda a transportar o liberar algunas vitaminas para que <no se queden atas- cadas> y ayuda a otras cosas que <ya no me acuerdo> [41-42].</p> <p>Ent.: Ah, ¿de dónde obtendría las calorías?, digamos, ¿cuál sería su fuente de energía?</p> <p>MLM: De la grasa [602-604].</p> <p>MLM: Faltan los miarena... miarena... (MLM rió...) los minerales!</p> <p>Ent.: Los minerales, ok que son otro grupo.</p> <p>MLM: <Que son como el calcio que nos ayudan a los huesos> y el agua que nos ayuda a hidratarnos a que... porque todo nuestro cuerpo tiene agua [50-51].</p> <p>Ent.: ¿. Entonces, debo pensar que en la composición... ¿habrá alguna semejanza entre la composi- ción de los alimentos y la composición de nuestro cuerpo?</p> <p>MLM: Así, porque también están formados por células animales o vegetales...que tienen igual ¿no? [93-96].</p> <p>Ent.: A, ¿ Y crees que eso también requiera de energía?</p> <p>MLM: A, yo creo que sí...o, si alguna célula se murió necesitamos proteínas para volver a generarla [653-655].</p>	<p>El agua hidrata transporta nutrientes a sangre y células.</p> <p>Vitaminas y minerales "ayudan" a los carbohidratos, grasas y proteínas a realizar sus funciones.</p>

Clave: Representado ✓ No representado X

ANEXO 3D

Fragmento de la tabla de codificación correspondiente al Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL de la estudiante 07-MLM.
Proceso I. Transformación de alimentos en nutrientes-ingestión. Constituyente del MCEL: inferencias generalizadas

PROCESO DE NUTRICIÓN	FUENTES DE INFORMACIÓN			INFERENCIAS GENERALIZADAS (SINTESIS)
	DIBUJO	TEXTO	ENTREVISTA	
I. INGESTIÓN DE ALIMENTOS	Hamburguesa y caldo de pollo con arroz Niña obesa	<p>"[Una niña está obesa] porque durante un año tuvo una rutina igual comiendo demasiada grasa y sin aser ejercicio. [En su comida] es demaciada grasa y diario".</p>	<p>Ent.: ¿Por qué crees que hay demasiada grasa en el cuerpo de esta chica? MLM: Porque mucho tiempo comió de más, no sólo grasa. [858-859].</p>	<p>[S] una niña todos los días durante un año consume demasiada grasa y come de más –no sólo grasa– y sin hacer ejercicio. [entonces] estará obesa.</p>

Resumen del Proceso I. Transformación de alimentos en nutrimentos-ingestión correspondiente al Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL de la estudiante 07-MLM

PROCESO DE NUTRICIÓN	ENTIDADES	SUBENTIDADES	PROPIEDADES	RELACIONES	INFERENCIAS GENERALIZADAS
I. INGESTIÓN DE ALIMENTOS	Boca Alimentos: Hamburguesa y caldo de pollo con arroz		Permite la entrada de los alimentos. Pueden consumirse y contienen diferentes tipos de nutrientes. Formados por células animales o vegetales. Contienen energía y lo necesario para que el cuerpo funcione adecuadamente, logre crecer, repare heridas, se formen nuevas células para sustituir aquellas que mueren.	Los alimentos entran por la boca para ser consumidos. Al consumir alimentos, el cuerpo se nutre. Si se consumen alimentos, el cuerpo obtiene nutrientes como carbohidratos y grasas que le proporcionan energía para funcionar adecuadamente.	[S] una niña todos los días durante un año consume demasiada grasa y come de más —no sólo grasa— y sin hacer ejercicio, [entonces] estará obesa.
		Nutrientes Nutrientes simples <div style="display: flex; align-items: center;"> } <div style="margin-left: 5px;"> Vitaminas Minerales Agua </div> </div>	No requieren ser procesados [por el cuerpo] para ser absorbidos en el intestino. Ayudan a los nutrientes complejos a realizar su trabajo. Pueden ser transportadas por grasa. Cuando están en cantidades excesivas pueden ser transformadas en grasa. Vitaminas y minerales, con excepción del agua, son "reguladores". El calcio "ayuda" a los huesos. Hidrata el cuerpo para recuperar el agua perdida. Transporta nutrientes a la sangre y células, y algo más.	Si se consume carne, ésta proporciona proteínas que forman músculos, reparan heridas, "ayudan" al crecimiento corporal y forman nuevas células que sustituyen a las muertas.	

PROCESO DE NUTRICIÓN	ENTIDADES	SUBENTIDADES	PROPIEDADES	RELACIONES	INFERENCIAS GENERALIZADAS
	Cuerpo humano/ser humano	Nutrientes complejos { Carbohidratos { Proteínas { Grasas	Requieren ser procesados por el organismo para ser absorbidos en el intestino. Proporcionan energía al cuerpo. Forman músculos, reparan tejidos dañados por heridas, forman células, "ayudan" a crecer y forman nuevas células que sustituyen a las células muertas. Proporcionan energía y transportan vitaminas para evitar que éstas se estancuen [en la sangre]. Ser vivo formado por células. Contiene agua. Formados por todo tipo de nutrientes. Partes muy pequeñas que forman el cuerpo. Compuestas por nutrientes: agua, proteínas, carbohidratos, vitaminas, minerales y carbohidratos.	La grasa transporta o libera vitaminas, evitando que queden estancadas [en la sangre]. El calcio de los alimentos "ayuda" a los huesos. Vitaminas y minerales con excepción del agua, son "reguladores" y "ayudan" a los carbohidratos, grasas y proteínas a realizar sus funciones. El agua hidrata al cuerpo, recuperando el agua perdida, que luego es utilizada para transportar nutrientes a la sangre y células, y algo más.	

PROCESO DE NUTRICIÓN	ENTIDADES	SUBENTIDADES	PROPIEDADES	RELACIONES	INFERENCIAS GENERALIZADAS
<p>Resumen del proceso</p>	<p>El cuerpo humano es un ser vivo formado por células y agua. Las células son partes muy pequeñas que están en todo el cuerpo y están hechas por nutrientes. Los alimentos entran por la boca para ser consumidos, están formados por células animales o vegetales; las cuales también están formadas por nutrientes complejos (carbohidratos, proteínas, grasas o lípidos) que están formados por "varios" y requieren ser procesados por el cuerpo para ser absorbidos; los nutrientes simples (vitaminas, minerales y agua) no necesitan ser "procesados" para ser absorbidos. Las células están formadas por todo tipo de nutrientes. El cuerpo necesita consumir alimentos para nutrirse, pues de ellos obtiene nutrientes como carbohidratos y grasas que le proporcionan energía para funcionar adecuadamente, mientras que alimentos como la carne le proporcionan proteínas que forman músculos, le "ayudan" a crecer, reparar heridas y formar nuevas células para sustituir aquellas que mueren; se reservan en músculos y el resto de los órganos. La grasa también transporta o libera vitaminas; evitando que queden estancadas [en la sangre]; pero cuando son consumidas en exceso son transformadas en grasa. El calcio de los alimentos "ayuda" a los huesos. El agua hidrata el cuerpo, recuperándose así la que se pierde, también transporta nutrientes a la sangre y células y algo más. Vitaminas y minerales, con excepción del agua, son "reguladores" y "ayudan" a carbohidratos, proteínas y grasas a desempeñar sus funciones.</p> <p>Se infiere que [sí] una niña todos los días durante un año consume demasiada grasa y come de más —no sólo grasa— y sin hacer ejercicio, [entonces] estará obesa.</p>				

ANEXO 4

Modelo Científico Escolar Logrado-MCEL por la estudiante 07- MLM para explicar la obesidad humana (resumido en diez etapas)

ETAPA	RESUMEN
<p>1. Ingestión de alimentos</p>	<p>El cuerpo humano es un ser vivo formado por células y agua. Las células son partes muy pequeñas que están en todo el cuerpo y están hechas por nutrientes. Los alimentos entran por la boca para ser consumidos, están formados por células animales o vegetales; las cuales también están formadas por nutrientes complejos (carbohidratos, proteínas, grasas o lípidos) que están formados por “varios” y requieren ser procesados por el cuerpo para ser absorbidos; los nutrientes simples (vitaminas, minerales y agua) no necesitan ser “procesados” para ser absorbidos. Las células están formadas por todo tipo de nutrientes. El cuerpo necesita consumir alimentos para nutrirse, pues de ellos obtiene nutrientes como carbohidratos y grasas que le proporcionan energía para funcionar adecuadamente, mientras que alimentos como la carne le proporcionan proteínas que forman músculos, le “ayudan” a crecer, reparar heridas y formar nuevas células para sustituir aquéllas que mueren; se reservan en músculos y el resto de los órganos. La grasa también transporta o libera vitaminas, evitando que queden estancadas [en la sangre]; pero cuando son consumidas en exceso son transformadas en grasa. El calcio de los alimentos “ayuda” a los huesos. El agua hidrata el cuerpo, recuperándose así la que se pierde, también transporta nutrientes a la sangre y células y, algo más. Vitaminas y minerales, con excepción del agua, son “reguladores” y “ayudan” a carbohidratos, proteínas y grasas a desempeñar sus funciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Se infiere que [si] una niña todos los días durante un año consume demasiada grasa y come de más –no sólo grasa– y sin hacer ejercicio, [entonces] estará obesa.</u>
<p>2. Digestión de alimentos</p>	<p>Los alimentos entran por la boca, donde son masticados por los dientes que, junto con la lengua y la saliva, producida por las glándulas salivales, “ayudan” a formar el bolo alimenticio. La saliva actúa sobre los carbohidratos para volverlos más “simples”, después pasan al esófago que tiene forma de tubo para que pueda pasar la comida al estómago, ahí los jugos gástricos actúan sobre las proteínas para “volverlas más simples”; después pasa al intestino delgado que tiene forma de tubo para que pueda pasar la comida, ahí la bilis actúa sobre las grasas para “volverlas más simples”. La saliva, el jugo gástrico y la bilis ayudan a “simplificar” los distintos nutrimentos para que puedan ser absorbidos. Si los alimentos no se hacen “simples”, entonces serían un desecho para el cuerpo.</p>
<p>3. Absorción intestinal y defecación</p>	<p>En el intestino delgado las vellosidades intestinales absorben los nutrientes y entran a la sangre a través de las arterias y venas que atraviesan las delgadas vellosidades intestinales. Los restos no absorbidos pasan por el intestino grueso y el recto para salir en forma de excremento por el ano.</p>
<p>4. Transporte de nutrimentos vía sistema portahepático-corazón</p>	<p>Los nutrientes una vez absorbidos son transportados desde el intestino delgado hasta el hígado, a través de las venas que son huecas (en forma de tubo), antes de llegar al lado derecho del corazón que tiene sangre sin oxígeno/baja en oxígeno.</p>

ETAPA	RESUMEN
5. Inhalación (ventilación pulmonar)	El aire con oxígeno entra por las fosas nasales, enseguida pasa por la faringe, luego entra a la laringe y sigue por otros tubos hasta llegar a los alvéolos pulmonares que “guardan” el oxígeno, ahí las venas lo “recogen” y pasa a la sangre.
6. Oxigenación de la sangre	Los alvéolos pulmonares “guardan” el oxígeno, ahí las venas lo “recogen” y pasa a la sangre y llega al lado izquierdo del corazón, que tiene sangre con oxígeno y nutrientes.
7. Distribución de nutrientes y oxígeno a las células	<p>El corazón es hueco y está dividido en dos partes, una izquierda que tiene sangre con oxígeno y otra derecha que tiene sangre sin oxígeno/baja en oxígeno. La sangre regresa de los pulmones con nutrientes y oxígeno al lado izquierdo del corazón que tiene sangre oxigenada. Cuando el corazón palpita, empuja esa sangre, mientras que las arterias “que son huecas” la atraen/“la jalan”, haciéndola pasar a través de ellas.</p> <p>La sangre que va por las arterias se aleja del corazón porque reparte nutrientes, agua y oxígeno a los músculos, órganos y células.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En el modelo se infiere que [S] se examina una muestra de sangre humana, [entonces] se pueden encontrar nutrientes como minerales, vitaminas, agua, grasas, proteínas, agua y oxígeno porque la sangre los transporta a todo el cuerpo, a través de arterias. • [S] la sangre de una persona tiene demasiada grasa, [entonces] es probable que tenga sobrepeso u obesidad, y que exista riesgo de que la grasa tape una arteria y no pueda pasar sangre. <p>El corazón es hueco y está dividido en dos partes, una izquierda que tiene sangre con oxígeno y otra derecha que tiene sangre sin oxígeno/baja en oxígeno. La sangre regresa de los pulmones con nutrientes y oxígeno al lado izquierdo del corazón que tiene sangre oxigenada. Cuando el corazón palpita, empuja esa sangre, mientras que las arterias –que son huecas– la atraen/“la jalan”, haciéndola pasar a través de ellas.</p> <p>La sangre que va por las arterias se aleja del corazón porque reparte nutrientes, agua y oxígeno a los músculos, órganos y células.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En el modelo se infiere que [S] se examina una muestra de sangre humana, [entonces] se pueden encontrar nutrientes como minerales, vitaminas, agua, grasas, proteínas, agua y oxígeno porque la sangre los transporta a todo el cuerpo, a través de arterias. • [S] la sangre de una persona tiene demasiada grasa, [entonces] es probable que tenga sobrepeso u obesidad, y tiene riesgo de que la grasa tape una arteria y no pueda pasar sangre.
8. Utilización de nutrientes y oxígeno	<p>Los nutrientes, agua y oxígeno son transportados por la sangre –a través de las arterias– hasta las células del cuerpo y, una vez que están en ellas, el oxígeno “libera” la energía de los nutrientes (proteínas, carbohidratos, minerales, agua, grasas) para que los órganos puedan funcionar y obtener lo necesario para crecer, reparar y formar nuevas células.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En el modelo se infiere que [S] una persona hace ejercicio los músculos gastan más energía, [entonces] tiene que respirar más rápido para que entre más oxígeno a la sangre y libere la energía en las células que contienen nutrientes. • [S] una persona hace ejercicio, [entonces] el corazón late más rápido porque tiene que enviar más sangre con oxígeno a los lugares que [están] gastando más energía y también traerá a los pulmones los desechos celulares como el bióxido de carbono para expulsarlo mediante la exhalación.

ETAPA	RESUMEN
<p>9. Formación y eliminación de desechos (excreción pulmonar y renal)</p>	<p>Al “liberarse” la energía de los nutrientes, las células producen desechos (provenientes de proteínas, carbohidratos, minerales, agua, grasas); como el bióxido de carbono que es un gas y otros que son líquidos y sólidos que deben ser expulsados para evitar que el cuerpo se “intoxique”/se dañe. La sangre de las venas (que tiene poco oxígeno/no tiene) “recolecta” bióxido de carbono y desechos líquidos y sólidos, que al pasar por los alvéolos pulmonares “recoge” oxígeno y “libera” bióxido de carbono y otros gases por exhalación a través de la nariz. El resto de los desechos celulares pasan por las venas ya disueltos en la sangre hasta los riñones, que “filtran” el agua. La que sirve es devuelta a la sangre, mientras la que ya no sirve formará la orina; ésta es transportada por dos conductos (uno que sale de cada riñón) hasta la vejiga, para su expulsión por la uretra, que es un orificio al final de la vejiga.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En el modelo se infiere que [Si] se estudia la orina de una persona, [entonces] es posible encontrar desechos celulares disueltos en agua, provenientes de los nutrientes, además de aquéllos que no se aprovecharon.
<p>10. Formación y almacenamiento de grasa corporal asociado al gasto energético</p>	<p>Los nutrientes pasan del intestino delgado, a través de las venas, hasta el hígado, antes de llegar al lado derecho del corazón.</p> <p>Cuando todos los órganos/partes del cuerpo han recibido la cantidad de nutrientes necesarios, el páncreas produce una sustancia que envía al hígado a través de la sangre, esto hace que todos los nutrientes que lleguen en exceso (incluidas vitaminas, minerales, carbohidratos y proteínas), el hígado los transformará en grasa. Esa grasa es transportada por la sangre a diferentes partes del cuerpo, donde se encuentran células especiales que almacenan grasa en su interior como reserva de energía.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En el modelo se infiere que [si] un niño consume cotidianamente más alimentos de los que su cuerpo requiere para funcionar, usará sólo los nutrientes necesarios, [entonces] el hígado –con participación del páncreas– transformará en grasa los nutrientes que estén en exceso y si su actividad física es escasa o nula, después de un tiempo padecerá obesidad. • [Si] una persona obesa consume más alimentos de los que utiliza y el ejercicio físico es insuficiente [entonces] se mantendrá obesa. • [Si] una persona obesa desea bajar de peso [entonces] deberá hacer suficiente ejercicio para usar sus reservas de grasa como energía, consumir una dieta “balanceada” que contenga carne y verduras porque [estas últimas] contienen muy poca grasa. • [Si] se examina la sangre de una persona, se puede detectar si tiene sida o VPH u otros problemas como la anorexia o la bulimia, [entonces en tal caso] tendrá pocos nutrimentos como agua, minerales, vitaminas, proteínas, carbohidratos y grasas.

ANEXO 5

El diario de Caro

Caro fue a vivir con sus abuelos y ha empezado a escribir su diario. Ayer escribió



Querido diario:
 Hoy me fue muy bien en la escuela, en el recreo me amigé y yo estovimos jugando con nuestros teléfonos celulares.
 Después de comer, vi mis programas favoritos de televisión. Más tarde hice mi tarea. Hablé por teléfono con mi amiga Lía y le hice unos dibujos.
 También jugué un rato en mi computadora, escribí un poco y me fui a dormir.

Hay comi:
 Desayuno: Leche, dos huevos fritos, dos tartillas y dos rebanadas de pan con mantequilla y mermelada.
 En la escuela: dos salchichas fritas con mayonesa y salsa catsup, frituras y un jugo enlatado.
 Comida: carne de cerdo y papas fritas con salsa catsup, cuatro tartillas, refresco y gelatina de chocolate.
 Cena: licuado de chocolate, un pan dulce, tres tazas fritas de papa y un Flan con caramelo.





Ha pasado un año desde que Caro empezó a escribir su diario. Sus actividades no han cambiado mucho y su alimentación diaria es muy parecida.




La doctora ha enviado a analizar la sangre de Caro, para buscar pistas sobre su estado de nutrición.

¿Qué información piensas que se encontró en la sangre de Caro sobre su estado de nutrición?

grasa agua oxígeno

¿Cómo imaginas a Caro después de un año? Haz un dibujo de cuerpo completo:



Con
Obesidad.

¿Por qué piensas que ahora el cuerpo de Caro es así?

porque durante un año tuvo una rutina igual comiendo demasiada grasa y sin hacer ejercicio

¿Qué problemas encuentras en el menú que Caro ha escrito en su diario?

que es demasiada grasa y diario

¿Qué le recomendarías a Caro para mejorar su menú? y ¿por qué?

comer balanceado frutas y verduras y comer lo que necesitan

¿Qué otra recomendación le harías a Caro para tener un buen estado de salud?


hacer ejercicio

ANEXO 6

Una revisión médica

Luis cuida mucho su estado de salud, por eso cada año asiste a una revisión médica, en la que es necesario tomar una muestra de sangre para examinarla.

¿Qué componentes crees que se detectaron en la sangre de Luis, después de haberla examinado? Escribe tu respuesta en la hoja de "Resultados de Laboratorio".

RESULTADOS DE LABORATORIO		Nombre: Luis Martínez
	(minerales, vitaminas, agua, grasas, proteínas)	
	nutrientes, oxígeno, agua,	



¿Por qué piensas que es posible encontrar esos componentes en la sangre de Luis?

porque la sangre transporta los nutrientes al cuerpo y está disuelta en agua para poder trasladarse por las venas y arterias

¿Qué problemas de salud crees que se puedan detectar en la sangre de las personas?

que tenga demasiada grasa en las venas y arterias o que tenga sida o VPH u otros problemas.

o que tenga anorexia o bulimia, que quiere decir que tiene pocos nutrientes (agua, minerales, vitaminas, proteínas, carbohidratos y grasas)


ANEXO 7

Una consulta médica

Beto no se sentía bien de salud, por eso su mamá lo llevó al médico. La enfermera le pidió que colocara en un vaso, un poco de orina para que la estudiaran en el laboratorio.



¿Qué componentes crees que fue posible encontrar en la orina de Beto, cuando la estudiaron en el laboratorio? Escribe tu respuesta en la hoja de "Resultados de Laboratorio".

	RESULTADOS DE LABORATORIO	Nombre: Alberto Luna
desechos de los nutrientes en las células disueltas en agua y los nutrientes que no se aprovecharon.		



¿Por qué piensas que es posible encontrar esos componentes en la orina de Beto?
por que son los desechos de la célula
(nutrientes) que comemos

¿Qué complicaciones de salud podría tener Beto, si el médico detecta que sus riñones no funcionan bien?
que no retenga el agua o que no sea
los desechos

ANEXO 8

* Ejercicio físico y salud

El ejercicio físico constante, pero moderado, es bueno para nuestra salud.



I. Contesta las siguientes preguntas.

1. ¿Por qué tienes que respirar con mayor frecuencia cuando haces ejercicio físico que cuando tu cuerpo descansa?*

por que cuando haces ejercicio gastas mas energia en los musculos y tienes que respirar mas para que entre mas oxigeno a la sangre y libere la energia en las celulas que contienen nutrientes.


2. Cuando haces ejercicio tu corazón late más rápido. ¿Por qué pasa eso?

si porque tiene que oxigenar y enviar mas sangre a los lugares que gasten mas energia.

*Fuente: (INEE, 2011: 239)

ANEXO 9

Una invitación a comer



Pepe ha invitado a comer a Luis, para festejar que ha decidido cambiar su alimentación, pues desea estar en buen estado de salud.

¡Buen provecho! Mi querido Luis. Toda esta deliciosa comida es solo para nosotros dos. ¡Festijemos!

Pero... Pepe. ¡Es demasiada comida para dos personas!

Pepe trata de tranquilizar a Luis diciéndole...

¿Por qué pones esa cara de susto? Todo lo preparé sin grasa. ¡Ya le dije adiós a las grasas!

Mientras Pepe habla, Luis interrumpe sin salir de su asombro.

Además, ¿piensas que beberemos todos esos refrescos? Y, ¿también comeremos de postre los dulces que llenan el plato?

Además tú y yo sabemos que la carne tiene proteínas. Hay una buena cantidad de pan sin grasa, espagueti sin crema, ensalada de pepinos y...

Pepe muy tranquilo continúa diciendo...

En eso tienes razón, los refrescos y los dulces no contienen grasa, pero **¡tienen demasiada azúcar!**

Calma amigo, los refrescos y los dulces no tienen grasa. Además, ya te dije que toda la comida, la he preparado sin grasa.

Querido amigo, por lo visto, necesitas saber qué sucede a nuestro cuerpo cuando ingerimos por mucho tiempo demasiada azúcar y comemos en exceso, aunque la comida no tenga grasa. Ahora mismo te explico.

Luis se ha dado cuenta, que su amigo necesita conocer más sobre los efectos de los alimentos en el cuerpo. Además, sabe que Pepe hace muy poca actividad física. Ya más tranquilo, Luis explica a su amigo la importancia de no comer en exceso y realizar ejercicio.

Escribe atrás de esta hoja, lo que piensas que Luis explicó a su amigo.

Que pepe cre que que la grasa es lo unico que le haria daño pero Luis le quiere explicar que todo ase daño en grandes cantidades, porque Luis pepe si come todo eso, los nutrientes los que necesita los va a ocupar y los demas el higado con ayuda del pancreas lo que no nesecita se convertira en grasa y como ase demasiada actividad fisica las reservas de gra no se van a utilizar eso lo lleva a la obesidad Si sege continuamente comiendo lo mismo y no ase ejercicio y en vez de comer saludable aria lo contrario.

ANEXO 10

Mi vecina quiere bajar de peso

Lee el siguiente caso:

Mi vecina está obesa y necesita bajar de peso para evitar riesgos a su salud. Su meta es alcanzar un peso adecuado para su estatura y edad. No ha hecho cambios en su alimentación, pero dos días a la semana hace ejercicio durante diez minutos. Ella dice que para reponer los líquidos perdidos mediante el sudor y reponer la energía gastada durante el ejercicio, bebe uno o dos refrescos y come una pizza mediana de chorizo con queso.



A continuación, te presentamos una afirmación. Encierra en un círculo Si o No según consideres. Después debes explicar tu respuesta.

1. Seguramente, mi vecina alcanzará su meta de bajar de peso y logrará un peso adecuado para su estatura y edad porque hace ejercicio.	Si / <input checked="" type="radio"/> No
--	--

¿Por qué?
 por que al ejercicio que usa no ayuda a bajar esas reservas de grasa y su dieta es mediante a mas saluras de lo que ocupa y aunque al ejercicio come mas y el ejercicio es en vano.

ANEXO 11

Mi diario de clase



1

¿Qué es un alimento?
 Es un compuesto, que proviene de origen animal o vegetal el cual podemos ingerir sin que nos aguarde es la fuente donde el ser humano absorbe nutrientes que nos dan energía y así permiten crecer (proteínas).
 Los nutrientes son:
 vitaminas
 carbohidratos
 grasas/lípidos
 agua
 minerales
 proteínas

2

Los alimentos y sus funciones.
 ¿Qué es un alimento más?
 Que son alimentos, tienen diferentes cantidades de nutrientes.
 Que el aceite tiene un 100% compuesto de grasa y que aunque la grasa tiene mucha energía el cuerpo prefiere sus carbohidratos como fuente principal de energía.
 Que el jugo identifica azúcares que son carbohidratos complejos que los azúcares su principal fuente son los carbohidratos de los jugos azúcares, los hidratos y carbohidratos de los alimentos de origen animal los proteínas y de los frutos y verduras el agua los minerales y sus vitaminas.

3

que el plato del bien comer aconseja juntar cereales un cereal y una leguminosa para obtener una proteína completa que al igual de extraer proteína grasas y que las grasas en exceso al igual que las proteínas pueden causar grasa.
 El nombre de los 6 grupos de nutrientes que son: carbohidratos, proteínas, carbohidratos, y los simples a agua, vitaminas y minerales. Los simples el cuerpo los tiene que ser simples para poder pasar. — B—g

4

Las proteínas son las que nos ayudan a crecer y reparar los tejidos, a la formación de células, la grasa nos aporta volumen y ayuda a que proteja al cuerpo de algunas cosas.
 Los nutrientes simples como el azúcar a los compuestos a que su trabajo y son los reguladores.
 La grasa energía se mide en calorías.
 La función del agua en nuestro cuerpo es para regular el agua que perdemos, para transportar nutrientes a la sangre y células, etc...

5

Obesidad.
 La obesidad es una enfermedad que tiene que ver con el exceso de grasa.
 Es causada por el exceso de comida y por no hacer ejercicio por eso la grasa se acumula y se vuelve grasa.
 Esto causa enfermedades de corazón, diabetes, etc...

REFERENCIAS

- Banet, E. (2008). Obstáculos y alternativas para que los estudiantes de educación secundaria comprendan los procesos de nutrición humana. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, (58), 34-55.
- Banet, E. y Núñez, F. (1997). Teaching and learning about human nutrition: a constructivist approach. *International Journal of Science Education*, 19(10), 1169-1194.
- Candela, A. (2001). *Ciencia en el aula. Los alumnos entre la argumentación y el consenso*. Ciudad de México: Paidós Educador.
- Cañal, P. (2008). El cuerpo humano: una perspectiva sistémica. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, (58), 8-22.
- Concari, S. (2001). Las teorías y modelos en la explicación científica: implicaciones para la enseñanza e la ciencia. *Ciência E Educação*, 7(1), 85-94.
- Cubero, J., Costillo, E., Calderón, M. A. y Ruiz, C. (2012). Análisis del origen de concepciones alternativas en internet, entre los conceptos de aparato y sistema en anatomía y fisiología. En J. M. Domínguez (ed.), *XXV Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (261-268). Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España. Recuperado de <http://apice-dce.com/wp-content/uploads/2018/08/XXV-EDCE>.
- Delval, J. (2009). La capacidad de representación. En J. Delval, *El desarrollo humano* (pp. 248-261). Ciudad de México: Siglo XXI.
- Erickson, F. (2012). Qualitative research methods for science education. En *Fraser et al.* (eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 1451-1469). Suiza: Springer International Handbooks of Education. DOI: 10.1007/978-1-4020-9041-7_93
- García, P. y Sanmartí, N. (2006). La modelización: una propuesta para repensar la ciencia que enseñamos. En M. Quintanilla y A. Adúriz-Bravo (coords.), *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas* (pp. 279-297). Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile.
- Gutiérrez, R. (1994). *Coherencia del pensamiento espontáneo y causalidad. El caso de la dinámica elemental* (Tesis doctoral inédita). Universidad Complutense, Madrid, España.
- Gutiérrez, R. (2003). Conversation Theory and self-learning. En D. Psillos et al. (eds.), *Science Education Research in the Knowledge-Based Society*. Dordrecht, Países Bajos: Kluwer Academic Publishers (pp. 43-49). Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Rufina_Gutierrez/publication/301973082_Conversation_Theory_and_Self-Learning/links/58e7d2ad458515e30dcacea3/Conversation-Theory-and-Self-Learning.

- Gutiérrez, R. (2004). La modelización y los procesos de enseñanza/aprendizaje. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, (42), 8-18.
- Gutiérrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencia conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: aproximaciones y alternativas. *Bio-grafía. Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 7(13), 37-66.
- Gutiérrez, R. (2017a) Construcción del conocimiento espontáneo y del conocimiento científico I: ¿Existe alguna conexión? *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 4331-4336.
- Gutiérrez, R. (2017b). Construcción del conocimiento espontáneo y del conocimiento científico II: Secuencia de enseñanza/aprendizaje basada en sucesión de modelos: Introducción a la electrostática elemental. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 4337-4342.
- INEE (2011). Anexos. Ejercicio físico. En M. Aguilar y A. Tapia (coord.), *PISA en el aula: Ciencias* (pp. 235-240). Ciudad de México: Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García P., Pujol, R. y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las ciencias*, número extra, 79-91.
- López Gordillo, M. (2019). *Modelización en clases de ciencias naturales: el caso de la obesidad humana* (Tesis doctoral en proceso). Universidad Pedagógica Nacional. Ciudad de México.
- López y Mota, A. 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. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, 7(13), 109-126.
- López y Mota, Á. D. y Rodríguez-Pineda, D. (2013). Anclaje de los modelos y la modelización científica en estrategias didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 2008-2013.
- Pask, G. (1976). A comparative survey of conversational methods. En G. Pask, *Conversation theory. Applications in education and epistemology* (pp. 19-48). Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Piñeiro, R. (2015). Función endócrina del tejido adiposo. En R. Piñeiro, *Obesidad en la infancia y la adolescencia: su relación con la aterosclerosis temprana* (pp. 7-23). La Habana, Cuba: Editorial Científico-Técnica.
- Peña, A. (2001). Metabolismo y nutrición. En A. Peña, *Qué es el metabolismo* (pp. 97-124). Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Salazar, B.; Salazar, M. y Pérez, R. (2015). ¿Es la obesidad una enfermedad? En B. Salazar, M. Salazar y R. Pérez, *¿Gorditos o enfermos? La obesidad en niños y adolescentes* (pp. 22-27). Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.

- Pujol, R., Bonil, J. y Márquez, C. (2006). Avanzar en la alfabetización científica: Descripción y análisis de una experiencia en torno al estudio del cuerpo humano en educación primaria. *Investigación en la escuela*, (60), 37-52.
- Rivadulla, J. C. (2013). *El desarrollo del currículum desde la perspectiva del profesorado de Educación Primaria. La nutrición humana* (Tesis doctoral inédita). Universidad da Coruña, La Coruña, España.
- Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. En J. Perales, y P. Cañal (coord.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 239-266). Alcoy, España: Marfil.
- Staines, H., Chacón, S., Saldívar, A. y Solórzano, A. (2013). Estado nutricional de los escolares en Ciudad Juárez. En A. Wall-Medrano (comp.), *La obesidad en el escolar, sus determinantes y soluciones* (pp. 21-37). Ciudad Juárez: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

SEMBLANZA DE LOS AUTORES

Ana Milena López Rúa

Licenciada en Educación Básica con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental por la Universidad de Antioquia. Maestra en Enseñanza de las Ciencias por la Universidad Autónoma de Manizales. Candidata a doctora en Didáctica por la Universidad Tecnológica de Pereira. En la actualidad trabaja en la línea de modelos y modelización en la enseñanza de las ciencias. Integrante del grupo de investigación Cognición y Educación de la Universidad de Caldas y Universidad Autónoma de Manizales. Coordinadora de la Maestría en Enseñanza de las Ciencias de la Universidad Autónoma de Manizales.

Ángel Daniel López y Mota

Es profesor-investigador titular en la Universidad Pedagógica Nacional-Ajusco (México) desde 1981. Su formación académica incluye estudios como docente normalista, en química, una licenciatura en Pedagogía en la UNAM y un PhD en Science Education en el Institute of Education, University of London. Destaca haberse desempeñado como coordinador de Posgrado en la UPN. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt desde el año 2000 y es parte del Consejo Mexicano de Investigación Educativa.

Ha formado recursos humanos en licenciatura, maestría y doctorado, presentado ponencias en congresos nacionales e internacionales y publicado artículos en revistas especializadas y de difusión, así como diversos capítulos de libros relativos a la Didáctica de la Ciencia dentro del cuerpo académico EDUCIEN. Actualmente está dedicado a investigar acerca del diseño y validación de secuencias didácticas en el campo de las ciencias naturales, con sustento teórico en modelos y modelización.

Fanny Angulo Delgado

Colombiana. Licenciada en Biología por la Universidad Pedagógica Nacional-Bogotá, maestra en Educación por la Universidad de La Sabana-Bogotá y doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales y Matemáticas por la Universidad Autónoma de Barcelona. Profesora titular de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia (UdeA, Medellín), donde ha sido jefe del Centro de Investigaciones Educativas y Pedagógicas; jefe del Departamento de Educación Avanzada; profesora de Didáctica de las Ciencias y Práctica Pedagógica; de la Maestría en Educación y del Doctorado en Educación e Investigadora del Grupo GECEM. Dirigió el proceso de autoevaluación institucional para renovar la acreditación de alta calidad de la UdeA. Fue vicerrectora encargada y asistente de la Vicerrectoría de Docencia de esa Institución. Desde 2015 colabora con el Dr. Ángel Daniel López y Mota, de la Universidad Pedagógica Nacional-sede Ajusco (México), en modelización de fenómenos de valor educativo y Modelo Científico Escolar de Arribo.

Liliana Valladares Riveroll

Doctora y maestra en Filosofía de la Ciencia por la UNAM. Maestra en Filosofía, Ciencia y Valores por la Universidad del País Vasco. Profesora asociada de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. Cuenta con diversas publicaciones sobre educación, ciencia e interculturalidad. Miembro del SNI-Conacyt. Ha participado en distintas actividades de formación y actualización docente. Ha impartido

numerosas ponencias, conferencias, talleres y cursos sobre las relaciones educación-ciencia-tecnología-sociedad, epistemología y educación, interculturalidad y educación.

Luissa Marlen Galvis Solano

Es maestra en Desarrollo Educativo, en la línea de Educación en Ciencias por la Universidad Pedagógica Nacional-México, becada por Conacyt. Maestra en Educación por la Universidad Autónoma de Bucaramanga-Colombia. Especialista en Pedagogía Universitaria y licenciada en Educación en Ciencias Naturales y Ambiental en la Universidad de Pamplona-Colombia. Entre sus principales líneas de investigación se encuentran los temas de infancia, adolescencia y juventud, procesos cognitivos del aprendizaje y educación en ciencias naturales. Ha sido profesora en diversos niveles académicos en Colombia, en la enseñanza de la biología, química y metodología de la investigación en educación en ciencias naturales.

María Mercedes López Gordillo

Es maestra normalista egresada de la Benemérita Escuela Nacional de Maestros (BENM) y de la Escuela Normal Superior de México en la especialidad de Biología. Obtuvo la Licenciatura en Nutrición en la Universidad Autónoma Metropolitana y el grado de Maestría en Desarrollo Educativo en el campo de Educación en Ciencias, en la Universidad Pedagógica Nacional (UPN-Ajusco) y está por concluir sus estudios de Doctorado en Educación en la misma Universidad y línea de investigación. Se ha especializado en procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. También ha participado como ponente en diversos congresos nacionales e internacionales. Es coautora de diversas publicaciones, entre ellas, los Tomos I y II de la Colección: El cuerpo humano como sistema, publicados por el Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación. Ha desempeñado funciones docentes y directivas en escuelas de educación básica. Actualmente es formadora de Licenciados en Educación Primaria en la BENM.

Mary Orrego Cardozo

Licenciada en Biología y Química por la Universidad de Caldas. Maestra y PhD en Bioquímica y Biología Molecular por la Universidad Autónoma de Barcelona. Trabajó durante diez años. Actualmente trabaja en las líneas de investigación sobre: modelos y modelización en la enseñanza de la Biología y de la Bioquímica y Biología Molecular y Salud (Bimsa). Profesora del Departamento de Ciencias Básicas Biológicas y del Doctorado en Ciencias Cognitivas de la Universidad Autónoma de Manizales. Integrante del grupo de Investigación Cognición y Educación de la Universidad de Caldas y Universidad Autónoma de Manizales. Líder del grupo de Investigación Neuroaprendizaje de la Universidad Autónoma de Manizales.

Óscar Eugenio Tamayo Alzate

Licenciado en Biología y Química por la Universidad de Caldas. Maestro por la Universidad Pedagógica Nacional en Desarrollo Educativo y Social. Maestro y PhD por la Universidad Autónoma de Barcelona en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Posdoctorado en Narrativa y Ciencia por la Universidad Santo Tomás-Universidad Nacional de Córdoba. Actualmente trabaja en las líneas de investigación sobre: modelos y modelización, enseñanza de las ciencias y las matemáticas, formación y evolución de conceptos científicos, lenguaje, argumentación y metacognición en el aula de ciencias. Profesor del Doctorado en Educación y en Diseño y Creación (Universidad de Caldas), Doctorado en Ciencias Cognitivas (Universidad Autónoma de Manizales), Doctorado en Ciencias Sociales, Niñez y Juventud (CINDE-UM), Doctorado en Didáctica (Universidad Tecnológica de Pereira). Líder del grupo de investigación Cognición y Educación de la Universidad de Caldas y Universidad Autónoma de Manizales). Profesor titular en la Universidad de Caldas y la Universidad Autónoma de Manizales.

Tathali Urueta Ortiz

La doctora Tathali Urueta Ortiz combina su pasión por la ciencia, la educación, y la sostenibilidad a través de la investigación y la docencia. Estudió Biología en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, realizó una maestría en Science Education y el doctorado en Curriculum Studies en el departamento de Curriculum & Pedagogy de la University of British Columbia, en Canadá. En su labor académica ha formado parte de diversos proyectos de investigación relacionados con la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias y la educación para la sostenibilidad. Ha participado en congresos, seminarios, ponencias difundiendo el conocimiento generado en los proyectos en los que participa. Su quehacer académico incluye la docencia y asesoramiento de estudiantes de educación superior.

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

Esteban Moctezuma Barragán *Secretario de Educación Pública*
Francisco Luciano Concheiro Bórquez *Subsecretario de Educación Superior*

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Rosa María Torres Hernández *Rectora*
María Guadalupe Olivier Téllez *Secretaria Académica*
Karla Ramírez Cruz *Secretaria Administrativa*
Juan Martín Martínez Becerra *Director de Planeación*
Dirección de Servicios Jurídicos
Fernando Velázquez Merlo *Director de Biblioteca y Apoyo Académico*
Yolanda López Contreras *Directora de Unidades UPN*
Francisca Lourdes Salas Ramírez *Directora de Comunicación Social*
Abril Boliver Jiménez *Directora de Difusión y Extensión Universitaria*

COORDINADORES DE ÁREA

Adalberto Rangel Ruiz de la Peña *Política Educativa, Procesos Institucionales y Gestión*
Amalia Nivón Bolán *Diversidad e Interculturalidad*
Pedro Bollás García *Aprendizaje y Enseñanza en Ciencias, Humanidades y Artes*
Leticia Suárez Gómez *Tecnologías de la Información y Modelos Alternativos*
Iván Rodolfo Escalante Herrera *Teoría Pedagógica y Formación Docente*
Arturo Ballesteros Leiner *Posgrado*
Elin Emilsson Ingvarsdóttir *Centro de Enseñanza y Aprendizaje de Lenguas*

COMITÉ EDITORIAL UPN

Rosa María Torres Hernández *Presidenta*
María Guadalupe Olivier Téllez *Secretaria Ejecutiva*
Abril Boliver Jiménez *Coordinadora Técnica*

Vocales académicos

José Antonio Serrano Castañeda
Gabriela Victoria Czarny Krischautzky
Ángel Daniel López y Mota
María del Carmen Mónica García Pelayo
Juan Pablo Ortiz Dávila
Claudia Alaníz Hernández

Vocales externos

Malena Mijares Fernández
Joaquín Díez-Canedo Flores

Subdirectora de Fomento Editorial *Griselda Mayela Crisóstomo Alcántara*
Formación *María Eugenia Hernández Arriola*
Diseño de portada *Jesica Coronado Zarco*

Corrección de estilo: *Ana María Carbonell León*

La edición de este libro recibió el apoyo del proyecto

ALTER-NATIVA (DCI-ALA/19.09.01/10/21526/245-575/ALFA III)

Dibujo y texto de portada: alumna de sexto año de educación primaria de la Escuela de Experimentación Pedagógica 'Genoveva Cortés Valladares', anexa a la Benemérita Escuela Nacional de Maestros.

Esta primera edición de *Modelos científicos escolares: el caso de la obesidad humana* estuvo a cargo de la Subdirección de Fomento Editorial, de la Dirección de Difusión y Extensión Universitaria, de la Universidad Pedagógica Nacional y se publicó el 30 de septiembre de 2019.