

PROPUESTA DE MODELIZACIÓN COMO CONSTRUCTO DERIVADO DEL CONCEPTO ‘MODELO CIENTÍFICO ESCOLAR DE ARRIBO’

PEREDA, SARA ⁽¹⁾; LOPEZ-MOTA, ÁNGEL ⁽²⁾

^{1,2} Universidad Pedagógica Nacional

^{1,2} peredag@yahoo.com, alopezm@upn.mx

RESUMEN

El concepto de Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) es utilizado como referente - en forma de hipótesis directriz- para orientar el diseño, desarrollo y validación de estrategias didácticas bajo el enfoque de modelos. En este caso, lo usamos para derivar de él criterios de diseño para una estrategia de construcción de modelos científicos escolares relativos a fenómenos electrostáticos en educación básica (estudiantes de 13-14 años). Desarrollada la estrategia, es posible evaluar el nivel de logro de los modelos escolares construidos en el aula con los estudiantes, a partir de compararlos con el MCEA. Así, los resultados que se obtengan, en términos de modelos, pueden ser comparados con una hipótesis establecida *a priori*, con sustento en investigación sobre ideas previas, así como de referentes curriculares y científicos, para aportar evidencia sobre si la hipótesis puede ser alcanzada mediante la estrategia didáctica diseñada y desarrollada. A partir del MCEA y de algunos modelos de modelización reportados en la literatura, se propone una forma de secuenciación didáctica fundamentada en el uso del MCEA.

Palabras clave: modelos, modelización, estrategias didácticas, electrostática.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo presentamos cómo la idea de modelo científico -proveniente de una epistemología semanticista- puede ser utilizada en el ámbito de la didáctica, en la forma de un constructo llamado Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA). Esto nos permite orientar el diseño de una secuencia didáctica y validarla en sí misma -si bien aquí no se presentan todavía resultados de los logros alcanzados-. El MCEA se obtiene mediante la comparación del modelo inicial de los estudiantes, el modelo curricular y el modelo científico sobre fenómenos electrostáticos.

En particular, se indica cómo se elabora este referente (MCEA) para derivar de éste criterios de diseño de una secuencia didáctica que, lleve a los estudiantes a modelizar fenómenos electrostáticos en el salón de clases. Así, se busca promover actividades, desarrollar herramientas y habilidades cognitivas -con base en la definición de modelo utilizada- que permitan al estudiante fortalecer la comprensión de dichos fenómenos mediante la construcción de modelos durante la secuencia -mediante procedimientos como la argumentación y predicción de los fenómenos naturales-.

CONCEPTO DE MODELO

Fundamentamos nuestra propuesta de construcción de modelos desde una perspectiva epistemológica (Giere, 2004) y la complementamos con una visión ontológica (Gutiérrez, 2014), es decir, retomamos elementos ontológicos -entes y sus propiedades- y epistemológicos -enunciados legales- para la construcción de una noción de modelo¹ y por el cual entendemos:

“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. Las funciones esenciales de un modelo son la explicación y la predicción” (Gutiérrez, 2014:51).

A partir de esta definición se construye el modelo de referencia -descrito más adelante-, y permite homogeneizar la información -toda en términos de modelos-, con la finalidad de tener elementos que permitan direccionar una estrategia didáctica que promueva la modelización de fenómenos de la ciencia con interés educativo -en este caso: la electrostática-. Así, inferimos² las *entidades* de un sistema determinado y presentes en un fenómeno, con las *propiedades* asociadas a ellas, y *relaciones e inferencias generalizadas* que dan cuenta del comportamiento y predicciones sobre el sistema delimitado en el

¹ Esta noción de modelo nos permite homogeneizar la información proveniente de distintos ámbitos: los modelos mentales de los estudiantes, los modelos propuestos por los currículos para explicar los fenómenos abordados en ellos y los modelos científicos contenidos en textos universitarios; pudiendo así, permitir la postulación del MCEA.

² Para el caso de los estudiantes -ya que existe una extensa literatura muestra sus ideas espontáneas como representaciones profundamente arraigadas, resistentes al cambio y con una ontología alejada de la establecida por la ciencia- y para el del currículo -ya que generalmente no están desglosados en términos de modelos sino de temáticas-; no así para el caso de los modelos provenientes de la ciencia estándar y contenidos en textos universitarios.

fenómeno a ser modelizado. Entendemos por *entidades* del sistema, la “cosa real o concreta, actual o posible” (Bunge, 2001), presente en el fenómeno elegido para ser modelizado -partículas, moléculas, organismos-. Por *propiedades*, los o el “rasgo o característica que posee algún objeto, ya sea conceptual o material” (Bunge, 2001), esto es, algún atributo que distingue a alguna entidad -estar cargado eléctricamente-. Por *relaciones* consideramos la mayoría de las propiedades -intrínsecas y relacionales- de las cosas reales, las cuales se conceptualizan como relaciones y, en particular, como funciones (Bunge, 2001); las cuales pueden dar lugar a *reglas* para establecer *inferencias*, entendiendo por éstas el “deducir algo, sacar una consecuencia de otra cosa, conducir a un resultado.”³ (Diccionario de la Lengua Española, 2015). Las inferencias pueden conducir al establecimiento de *inferencias generalizadas*, es decir al establecimiento de resultados presentes en cada ocasión y con una conectiva lógica: “*si..., entonces...*”.

FENÓMENO A MODELIZAR: EL CASO DE LA ELECTROSTÁTICA

La electricidad es una de las áreas fundamentales de la Física y un tema importante en todo tipo de escolarización básica. Algunos fenómenos eléctricos presentes en nuestra vida cotidiana son los electrostáticos: si se frota un peine o un globo en nuestro cabello, o una regla con una franela, se observará que el peine y la regla atraen objetos ligeros, como pedacitos de papel. El globo puede quedar sostenido en la pared durante horas. Cuando nos quitamos el suéter en un día seco, podemos oír ‘chasquidos’ y ver -si está oscuro- pequeñas chispas que ‘saltan’ o sentir ‘toques’. Si caminamos por un piso alfombrado y de pronto tocamos un objeto metálico, percibimos un ‘toque’. Estos ejemplos de fenómenos electrostáticos tienen que ver –dice la ciencia- con las cargas eléctricas en reposo de un cuerpo. Los materiales que se comportan como el peine, el globo o la regla, al ser frotados, están electrizados o cargados eléctricamente; al presentar esta propiedad son capaces de atraer objetos livianos.

Para entender este comportamiento electrostático, es necesario considerar partículas elementales del átomo, como protones y electrones, que forman parte de un modelo atómico de la materia. Los protones -presentan carga eléctrica positiva $+1$ o ^+e -, que junto con los neutrones forman el núcleo del átomo; los electrones se encuentran orbitando alrededor de este núcleo -presentan la carga eléctrica opuesta: negativa -1 o ^-e -. Como todos los cuerpos están formados por átomos, poseen cargas eléctricas en forma de protones y electrones. Sin embargo, éstas pasan desapercibidas –para un lego- por estar *equilibradas*, es decir, tienen el mismo número de protones que de electrones. Cuando sus cargas se *desequilibran* -hay un mayor o menor número de electrones que de protones- se presentan fenómenos electrostáticos a partir de sus propiedades eléctricas de atracción o de repulsión. Cuando frotamos una regla, un peine o un globo con otro material, lo que estamos provocando –plantea la ciencia- es un desprendimiento de electrones que pasan de un cuerpo a otro -provocando un desequilibrio de cargas en ambos cuerpos-. En algunos materiales, los electrones se desprenden fácilmente por frotamiento, debido a que se encuentran muy lejos del núcleo y la atracción que ejerce éste es muy débil. A partir de que

³ La inferencia surge a partir de una evaluación mental entre distintas expresiones [o hechos] que, al ser relacionadas/os como abstracciones, permiten trazar una implicación lógica [o factual]

los electrones -con su propiedad eléctrica- pueden migrar de un objeto a otro y en otros no, se infiere que pueden *moverse* con mayor facilidad en algunos materiales -conductores- y con menor facilidad en otros -aislantes-. Esto da paso a los fenómenos electrodinámicos que, aunque no es nuestro propósito modelizar, podemos introducir este contenido utilizando un electroscopio; ya que podemos ‘observar la presencia y el movimiento’ de cargas eléctricas de un cuerpo a otro.

Los sujetos, al estudiar fenómenos electrostáticos, no pueden ‘ver’ lo que sucede a nivel microscópico, por lo que recaen en observar algún cambio a nivel macroscópico; lo cual afecta o dificulta la construcción de un modelo cercano al científico, que requiere de la postulación de entidades como protones y electrones. La comprensión de estos fenómenos es importante en la educación científica escolar, ya que “una clara comprensión de los conceptos introducidos en electrostática es esencial, si uno quiere adquirir una visión científica de los fenómenos electromagnéticos” (Furió y Guisasaola, 1999:442).

EL MODELO CIENTÍFICO ESCOLAR DE ARRIBO (MCEA)

Para alcanzar el referente aquí propuesto (MCEA), como dispositivo teórico-metodológico para diseñar y validar estrategias didácticas, comenzamos por construir el Modelo Estudiantil Inicial (MEI). Éste es inferido de las entidades, propiedades y reglas de inferencia de las ideas previas de los estudiantes que se reportan en la literatura especializada (Pereda, 2008; Pereda y López, 2009) y que los estudiantes también pudieran presentar al iniciar la secuencia didáctica (Tabla 1). También inferimos un Modelo Curricular (MCu) proveniente de los planes y programas de estudio de educación básica, Secundaria - Ciencias II - Explicación de los fenómenos eléctricos - (Tabla 2), ya que no suelen estar estructurados en forma de modelos, sino que generalmente muestran un listado de bloques secuenciados de contenidos, aprendizajes esperados y contenidos específicos (SEP, 2011). De igual manera, tomamos en cuenta las teorías científicas y modelos que soportan dicho contenido curricular -Electrostática en nuestro caso- y que muchas veces se presentan como conjuntos de conceptos y leyes desarticulados. Es por ello que construimos lo que llamamos Modelo Científico -Mci, (Tabla 3) -proveniente de la consulta de textos de Física básica utilizados en el nivel educativo superior-.

Entidades	Propiedades	Relación/Reglas de inferencia	Inferencias Generalizadas
Globo, Pared	Objetos [globo, papel o cabello] son ligeros.	Si se frota el globo/regla/cepillo con la pared/trozos de papel/cabello <i>entonces</i> se atraen o se perciben ‘toques’.	Si se frota con intensidad uno de los cuerpos, <i>entonces</i> la atracción entre ambos cuerpos será mayor.
Regla de plástico, Trozos de Papel	Pueden tener propiedades de atracción como las de un imán.		
Cabello, Cepillo			

Tabla 1: MEI (Ideas de los estudiantes) 13-14 años

Entidades	Propiedades	Relaciones/Reglas de Inferencia	Inferencias Generalizadas
Átomo: constituido por protones y electrones	Electrones presentan carga eléctrica negativa y protones, carga eléctrica positiva	Si dos cargas eléctricas interactúan entre sí, <i>entonces</i> se producen fuerzas de atracción o repulsión	-No se explicitan reglas de inferencia-

Tabla 2: MCu (Currículo escolar)

Entidades	Propiedades	Relaciones/Reglas de inferencia	Inferencias Generalizadas
Materiales (Serie Triboeléctrica)	Ganan o pierden electrones, por lo tanto, pueden cargarse eléctricamente.	Si una varilla de vidrio ha sido cargada positivamente con un trozo de seda, <i>entonces</i> atraerá un trozo pequeño de corcho -aún cuando el corcho esté descargado-	Si existen dos cuerpos cargados eléctricamente (por fricción o por inducción), <i>entonces</i> pueden presentarse fenómenos de atracción o repulsión entre ellos.
Electrón	<p>Portador de carga eléctrica negativa ($e = 1.602 \times 10^{-19}$ C).</p> <p>Presentan niveles de energía asociados a su cercanía o lejanía con el núcleo.</p> <p>Tiene una masa de 9.110×10^{-31} kg y se opone a ser acelerado por fuerza alguna.</p> <p>Presentan un momento magnético intrínseco: <i>spin</i>.</p> <p>Presenta un campo eléctrico en la región que rodea a esta carga; manifestándose dicho campo en la presencia de otra carga eléctrica.</p> <p>Los electrones ubicados en los niveles de energía más alejados del núcleo, pueden ser atraídos por</p>	<p>Si dos cargas están dispuestas en posiciones relativamente cercanas entre sí, <i>entonces</i> se manifiestan fuerzas eléctricas de atracción o repulsión.</p> <p>Si una carga positiva (negativa) es liberada en la vecindad de otra carga positiva (negativa), <i>entonces</i> experimenta una fuerza de repulsión que actúa radialmente hacia fuera; implicando que las líneas de fuerza de una carga puntual positiva/negativa estén dirigidas radialmente hacia fuera.</p> <p>Si dos cargas de signos opuestos se encuentran en proximidad, <i>entonces</i> la concentración de líneas de campo es más grande en la región entre las cargas y se llevan hacia la</p>	<p>Dos cargas eléctricas estacionarias, tienden a repelerse o atraerse entre sí con una fuerza proporcional al valor de las cargas e inversamente proporcional a su distancia mutua (Ley de Coulomb: $F = (k) q_1 q_2 / r^2$).</p>

	otro átomo cercano.	región central, presentándose una atracción entre ambas.
Protón	Portadores de carga eléctrica positiva ($^+e = 1.602 \times 10^{-19}$ C). Tiene una masa de 1.673×10^{-27} kg y se opone a ser acelerada por fuerza alguna. Presenta un campo eléctrico en la región que rodea a esta carga; manifestándose dicho campo en la presencia de otra carga eléctrica.	

Tabla 3: MCi (Contenidos científicos)

Finalmente, una vez que se han elaborado los modelos de los estudiantes (MEI), el modelo proveniente del programa de estudios (MCu) y el modelo basado en un conocimiento científico estándar (MCi) acerca de los fenómenos electrostáticos, se tensionan estos tres modelos y se postula el MCEA (Tabla 4); que se propone como una hipótesis directriz, clara y explícita, que permita contar con criterios para diseñar y validar una secuencia didáctica basada en modelos y modelización (López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014).

Entidades	Propiedades	Relaciones/Reglas de inferencia	Inferencias Generalizadas
Materiales que se pueden cargar eléctricamente, constituidos por átomos (formados por electrones y protones)	Materiales que pueden alinear cargas negativas (electrones)	Si se frota algunos materiales, <i>entonces</i> se electrizan ganando electrones o protones.	Si aumentan las cargas eléctricas en un cuerpo, <i>entonces</i> aumentarán las fuerzas de atracción o repulsión.
	Materiales que pueden alinear cargas positivas (protones)	Si dos materiales distintos poseen cargas eléctricas diferentes (positivas-negativas), <i>entonces</i> producirán fuerzas de atracción.	Si aumenta la distancia entre dos cuerpos electrizados, <i>entonces</i>
	Materiales que no pueden alinear cargas negativas o positivas (electrones o protones).	Si dos materiales distintos poseen cargas eléctricas iguales (negativas-negativas o positivas-positivas), <i>entonces</i> producirán fuerzas de repulsión.	disminuirán las fuerzas de atracción o repulsión. [Por el contrario, <i>si</i> disminuye la distancia entre estos dos cuerpos, <i>entonces</i>
		Si dos materiales distintos presentan cargas eléctricas diferentes, y uno de ellos es	aumentarán las fuerzas eléctricas.]

un material conductor,
entonces puede presentarse
un ¿fenómeno luminoso?.

Tabla 4: Modelo Científico Escolar de Arribo

Consideramos que, con el logro del MCEA, los estudiantes tendrían elementos para explicar, argumentar y predecir los fenómenos electrostáticos presentes en el currículo y transitar del nivel macroscópico -atracción entre un globo electrizado y la pared- al nivel microscópico, al señalar que las partículas atómicas son responsables de electrizar algunos cuerpos, como por ejemplo, el globo (Pereda y López, 2009).

El MCEL, alcanzado al final de la secuencia didáctica, puede ser comparado con el MCEA y con el MEI; logrando saber, entonces, si el modelo postulado como hipótesis directriz (MCEA) de la secuencia didáctica puede ser alcanzado y qué tanto fueron modificados los modelos iniciales de los estudiantes a partir de la misma (Figura 1). De esta manera, podemos validar la secuencia didáctica frente a lo que nos propusimos (MCEA) y no simplemente una transformación de la manera inicial de pensar de los estudiantes.



Figura 1: El MCEA se constituye como una hipótesis directriz a alcanzar mediante la secuencia didáctica sustentada en modelos y modelización.

CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DIDÁCTICA

Con la construcción del MCEA es posible establecer criterios que orientan el diseño de una estrategia didáctica basada en modelos, tales como:

- Identificar entidades y propiedades no consideradas por los estudiantes en su modelo inicial, por medio de la realización de experimentos sencillos.
- Introducir las relaciones entre entidades no consideradas por los alumnos en su modelo inicial (Figura 2).
- Establecer reglas de inferencia e inferencias generalizadas no visualizadas por los estudiantes en su modelo inicial (Figura 2).
- Diseñar una situación en la que se pueda aplicar el modelo construido al final de la secuencia didáctica, pero a un nuevo fenómeno electrostático; aunque de carácter muy similar al introducido en clase.

ESTRUCTURA DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA

Asimismo, se pueden comparar diferentes formas de secuenciaciones didácticas basadas en los modelos y la modelización, que se reportan en la literatura especializada, y que a continuación son mostradas (Tabla 5):

Autor	Secuencia Didáctica
Sanmartí (2002)	<ul style="list-style-type: none">- Actividades de exploración iniciales- Introducción de nuevos puntos de vista- Actividades de síntesis- Aplicación y generalización
The National Estrategies. Secondary (2008).	<ul style="list-style-type: none">- Actividad de despegue: Sondeo de las ideas de los alumnos.- Preguntas de diagnóstico- Desarrollo del modelo científico: Exploración de nuevos modelos.- Explicando el circuito: desafío- Autoevaluación del estudiante
Maia y Justi (2009)	<ul style="list-style-type: none">- La elaboración de un modelo mental: Objetivos propuestos para el modelo Obtener información de la entidad sobre la que se tiene que construir el modelo- Definir una analogía o un modelo matemático para fundamentar el modelo.- Integrar esas informaciones en la propuesta de un modelo.- Expresión del modelo mental- Tests del modelo (empíricos y/o mentales)- Alcance y de las limitaciones del modelo
Aliberas (2013)	<ul style="list-style-type: none">- Primera representación- Segunda representación: el modelo causal- Búsqueda de coherencia- Ejecución- Búsqueda de la correspondencia- Búsqueda de la robustez- Episodios

Tabla 5. Secuenciaciones didácticas basadas en los modelos y la modelización

De esta manera, establecidos los criterios para la elaboración de la estrategia didáctica y comparando algunas secuencias didácticas basadas en la modelización, es posible proponer una estrategia didáctica acorde a la adopción de la hipótesis directriz aquí presentada:

ESTRUCTURA DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA

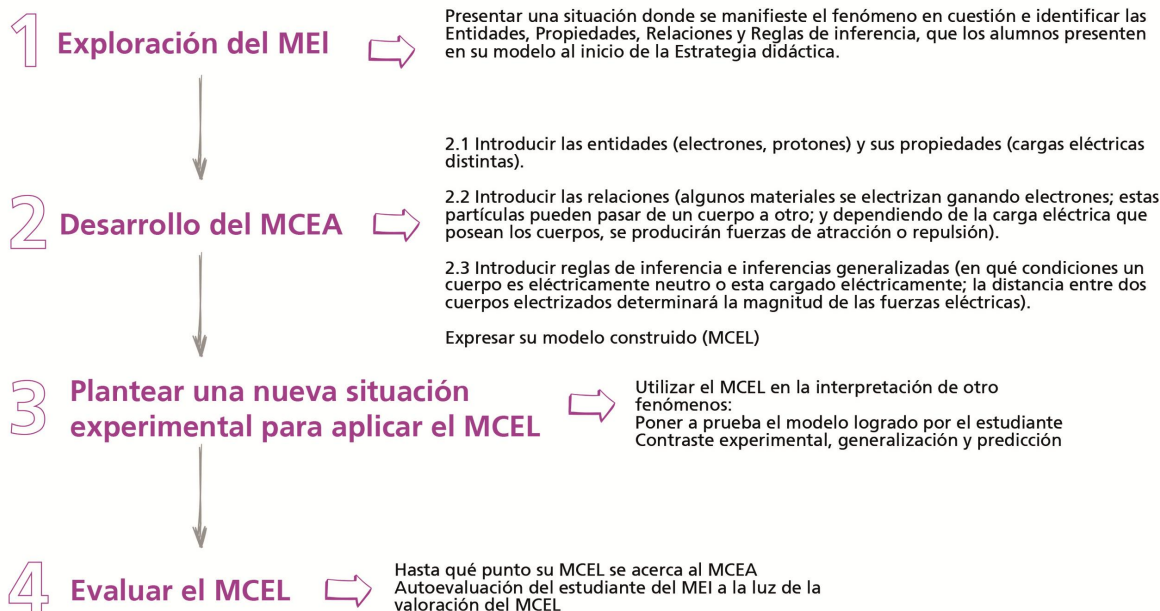


Figura 2: Estructura de la Secuencia Didáctica

Los resultados de esta propuesta serán dados a conocer en posteriores trabajos.

CONCLUSIÓN

Con el MCEA es posible saber dónde y cómo se quiere llegar con nuestros alumnos en términos de la construcción de conocimientos basada en modelos sobre fenómenos electrostáticos; tomando en cuenta la manera de pensar del estudiante, lo planteado por el programa de estudios y el conocimiento científico.

Así también el diseño de la Estrategia didáctica con base en el MCEA, permite:

- Lograr conocimiento de en qué medida el modelo logrado por los estudiantes (MCEL) al final de la secuencia didáctica, se acercó al MCEA; permitiendo validar la estrategia didáctica.
- Delinear etapas o fases de la secuencia didáctica con base en la definición de modelo adoptada.
- Alentar un acercamiento al fenómeno en cuestión y exploración del mismo, al promover su explicación con base en el desarrollo de modelos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aliberas, J. y Gutiérrez, R. (2013). *El papel de la conversación didáctica en la modelización y progresión del conocimiento escolar: el caso de la hidrostática en ESO*. Trabajo presentado en el IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Girona, España.

Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (2015). Disponible en: <http://www.rae.es/ayuda/diccionario-de-la-lengua-espanola>. Consultado el: 1 de julio de 2015.

Bunge, M. (2001). *Diccionario de Filosofía*. México: Siglo XXI Editores.

Furió, C. y Guisasola, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las ciencias*, 17 (3): 441-452.

Giere, R. N. (2004). "How Models are Used to Represent Reality", *Philosophy of Science*, 71 (December 2004): 742-752.

Gutiérrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencia conocen y necesitan conocer acerca de los modelos. Aproximaciones y alternativas. *Revista Bio-grafía*, 7(13): 37-66.

Maia, P. F. y Justi, R. (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-based Teaching. *International Journal of Science Education*, 31(5): 603-630.

López-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.

Pereda, S. (2008). *Diseño de una estrategia didáctica para propiciar el cambio conceptual sobre electrostática en alumnos de secundaria*. (Tesis de maestría). Recuperada de Biblioteca Gregorio Torres Quintero.

Pereda, S. y López, A. (2009). Estrategia didáctica para propiciar el cambio conceptual sobre electrostática en alumnos de secundaria. *Entre Maestros*, 9(31): 22-27.

Sanmartí, N. (2002). Organización y secuenciación de las actividades de enseñanza/aprendizaje. En Autor, *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria* (pp. 169-203). Barcelona: Síntesis Educación.

SEP (2011). *Programas de estudio 2011. Guía para el maestro. Educación Básica. Secundaria. Ciencias*. México, D. F.:Secretaría de Educación Pública.

The National Strategies. Secondary. (2008). *Explaining how electric circuits work*. Ucrania:Department for Children, Schools and Families.