



Lema.

¿Cuál educación científica es deseable frente a los desafíos en nuestros contextos latinoamericanos? Implicaciones para la formación de profesores.

EXPERIMENTACIÓN MENTAL Y APRENDIZAJE DE FÍSICA-MECÁNICA. ESTUDIO CON INGENIEROS CIVILES EN FORMACIÓN

Autores. 1 Edna Eliana Morales Oliveros. 2 Óscar Eugenio Tamayo Alzate. 1 Universidad Autónoma de Manizales, Universidad del Tolima. eemoraleso@ut.edu.co. 2 Universidad Autónoma de Manizales, Universidad de Caldas. oscar.tamayo@ucaldas.edu.co.

Tema. Eje temático 1.

Modalidad. 1. Nivel educativo universitario.

Resumen. La experimentación mental (EM) se comprende como una forma de razonamiento cualitativo basado en modelos y con una función epistémica en el progreso del conocimiento físico. En este marco, la presente investigación analiza, cómo los estudiantes de ingeniería civil llevan a cabo procesos de la EM cuando solucionan problemas de física-mecánica. Bajo un enfoque cualitativo de corte comprensivo, se utiliza la técnica de pensamiento en voz alta durante la modelización de un sistema en equilibrio-estático. Al respecto, los estudiantes visualizan un sistema imaginario, producto de la delimitación de eventos, objetos y supuestos del proceso de construcción de un modelo inicial. Luego, se varían ciertas condiciones del modelo, evaluando su comportamiento y los nuevos estados del sistema físico modelado. Finalmente, se materializa el modelo físico, incorporando las restricciones del sistema de referencia.

Palabras claves: Experimentación mental, modelos mentales, aprendizaje.

Introducción

La investigación empírica sobre los procesos cognitivos implicados en la creación de inferencias científicas ha tenido diferentes modalidades y enfoques (Schwartz, 2017). Por tradición, la mayoría de estudios se han centrado en los procesos de razonamiento de deducción formal e inducción por enumeración o inferencia estadística. Sin embargo en los años 80, el interés de los estudios se direccionó hacia una representación *más genuina* de la actividad cognitiva de los científicos. En especial, la comprensión de procesos de pensamiento cuya naturaleza cualitativa subyacen a la generación de nuevas ideas en el pensamiento científico.

En este contexto, se plantea que el razonamiento basado en modelos no es un proceso auxiliar, sino un recurso heurístico imprescindible en la creatividad científica. La cognición se concibe como un sistema acoplado, donde el razonamiento, aunque se procesa en la mente de los individuos, se da en plena continuidad con artefactos cognitivos externos y culturales (Nersessian, 2008).

De acuerdo a lo anterior, el presente trabajo analiza cómo estudiantes de ingeniería civil hacen uso de procesos de la EM, cuando modelizan una situación asociada a equilibrio-estático. La EM hace parte de unos procesos básicos que utilizan los físicos cuando se trata de construir, refutar y evaluar teorías científicas (Arcangeli, 2018). En consecuencia, se piensa que este tipo de razonamiento basado en modelos juega un rol epistémico en el aprendizaje de la física.

Referente teórico

Cheng & Brown (2010, 2015), Clement (2008, 2009), Hegarty (2004) y Hestenes (2015) estudiaron las fuentes de conocimiento implícito en los procesos de modelización de expertos en física y matemática. Estos investigadores resaltan

Lema.

¿Cuál educación científica es deseable frente a los desafíos en
nuestros contextos latinoamericanos? Implicaciones para la
formación de profesores.

que el razonamiento no está influenciado por el uso de reglas de inferencia lógicas o axiomas lingüísticos explícitos. Por el contrario, cuando se razona se hacen uso de esquemas de conocimiento experiencial y conceptual implícito e intuiciones físicas o matemáticas. Ellos encontraron que, las intuiciones físicas y matemáticas permiten relacionar los productos de la imaginación con el mundo externo. Además, estas intuiciones se conectan con la estructura, comportamiento y función de un modelo de un sistema físico. Por su parte, el conocimiento conceptual permite la construcción de la estructura simbólica de una ecuación.

La intuición es un elemento cualitativo y concreto de conocimiento sobre el mundo, que se evalúa y se mantiene sin la necesidad de una justificación adicional. Este tipo de conocimiento está presente en el momento de construir representaciones de objetos, eventos y/o procesos físicos determinados. Las intuiciones físicas en particular son fuentes de conocimiento para la generación de experimentos mentales (Clement, 2009). Además, éstas son entendidas como un tipo de estructura de conocimiento interno y pueden ser captadas mediante simulaciones imagísticas (Clement, 1994; 2008-2009).

Por otra parte, la analogía, la EM y la visualización son procesos cognitivos frecuentes en el estudio de la creatividad científica (Clement, 1991, 2008; Magnani & Li, 2007; Hestenes, 2015). En específico, el presente trabajo aborda la EM como una actividad que implica procesos de abstracción básicos en el aprendizaje de la física (Nersessian, 2008). A través de la EM es posible visualizar los conocimientos implícitos e intuitivos del sistema cognitivo de los estudiantes (Reiner, 2009). Además en su ejecución, se recurre a modelos conceptuales consolidados en la memoria de largo plazo, lo cual permite identificar el conocimiento sobre el fenómeno físico (Hegarty, 2004).

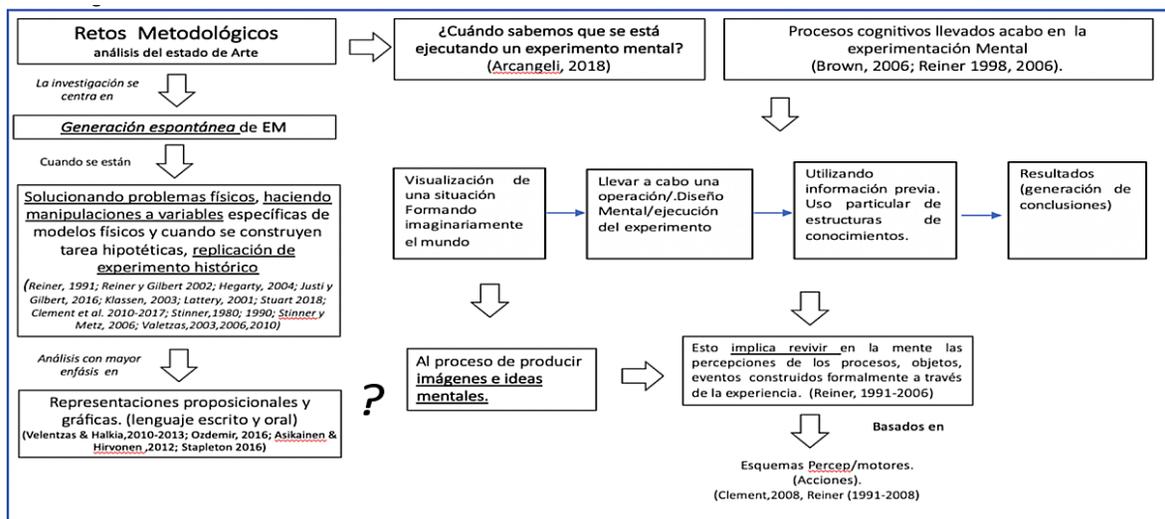
En la EM, un experimentador manipula mentalmente un modelo de una determinada situación, construyendo inferencias a partir de una simulación mental. En otras palabras, la EM se comprende como la construcción de un modelo dinámico en la mente de un individuo, que imagina una secuencia de eventos y procesos; siendo de esta manera la EM una forma de razonamiento basado en modelos (Nersessian, 2008). En contextos clásicos de razonamiento, la EM se estudia como una forma de argumento que es evaluado desde la lógica-formal o proposicional. Sin embargo, la EM como un proceso cualitativo implica una serie de procesos que es necesario estudiar en profundidad cuando tienen presencia en la ejecución de una tarea (ver Gráfica 1).

Gráfica 1. Elementos generales del trabajo de investigación en términos de procesos cognitivos de la EM y los retos metodológicos.



Lema.

¿Cuál educación científica es deseable frente a los desafíos en nuestros contextos latinoamericanos? Implicaciones para la formación de profesores.

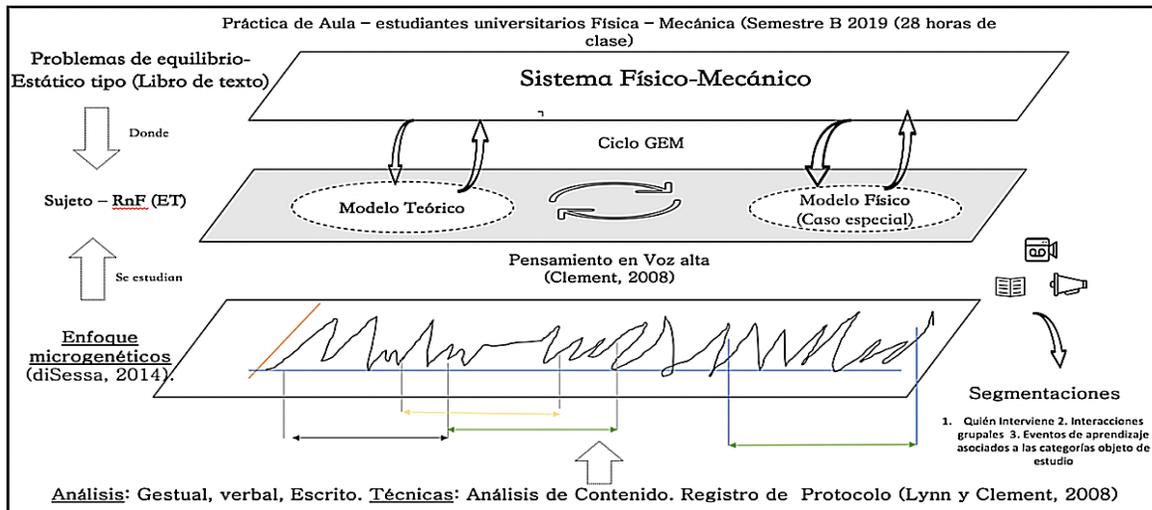


Fuente. Propia.

Metodología

El presente estudio es una investigación de corte cualitativo, dentro de un marco más amplio que busca comprender la función epistémica de la EM. Este es un estudio de caso múltiple (Yin, 2009) con una aproximación micro genética (diSessa, 2017). Para la diferenciación de los EM se hace uso del método de pensamiento de voz alta (Clement, 2008). Bajo esta perspectiva, se analizan las representaciones externas que construyen diez estudiantes en diferentes trazos del período de modelización de una situación de equilibrio estático. Con el marco de "indicadores de imágenes animadas" de Stephens & Clement; 2012 (Ver Tabla 1) se analizan las dos primeras etapas de la EM (Gráfica 1). Este marco también es utilizado para evaluar los gestos que dan cuenta que el estudiante está realizando algún proceso de la EM (Reiner y Gilbert 2000). Para rastrear la modelización física se tuvieron en cuenta los indicadores de Vásques (2012) (Tabla 2). Las declaraciones orales se sistematizan de forma escrita, haciendo análisis de contenido y utilizando la herramienta Atlas ti. La gráfica 2 representa los lineamientos generales metodológicos.

Gráfica 2. Representación general de los elementos metodológicos.



Fuente. Propia.

Los estudiantes modelizan una estructura uniforme de aluminio sujeta mediante un soporte y con un cable que forma un ángulo de 35° con la pared. Este sistema sostiene una masa en su extremo y se debe calcular la tensión del cable y la reacción del soporte. Además, se deben construir modelos matemáticos que den cuenta del sistema, realizando diferentes variaciones. Luego, los estudiantes construyen modelo físico del sistema en estado de equilibrio.

Tabla 1. Protocolo para el análisis de gestos representativos de experimentación Mental.

Categorías de indicadores	Detalle
Informe de imágenes	El sujeto afirma que está imaginando. "viendo" o "sintiendo"
Referencias a las percepciones	Sensación de percepción al describir aspectos visuales u otros aspectos perceptivos de la escena durante el pensamiento.
Referencias a movimientos depresivos	El sujeto hace movimientos de mano y de cuerpo no estilizados que representan objetos, fuerzas, ubicaciones, movimientos de entidades.
Los movimientos representan dinámicas.	Los movimientos de las manos representan la forma del evento dinámico, no una imagen dinámica.
Informe de imágenes dinámicas	Informe de imágenes donde el sujeto indica que están imaginando movimientos, cambios e interacciones a lo largo del tiempo.
Proyección o analogía del movimiento personal	Se refiere a los movimientos de entidades en una situación objetivo como si fueran movidos por una persona. Utiliza una analogía personal al referirse a una situación análoga que involucra al cuerpo.
Uso del término de fuerza	Contexto de fuerzas como "tirar" "empujar" "torcer"



Lema.

¿Cuál educación científica es deseable frente a los desafíos en nuestros contextos latinoamericanos? Implicaciones para la formación de profesores.

Bogotá, 13 a 15 de octubre de 2021
Modalidad On Line – Sincrónico

Categorías de indicadores	Detalle
Enfoque en representación gráfica	Mientras se hacen declaraciones sobre las relaciones espaciales o físicas entre entidades

Fuente. Stephens & Clement (2012).

Tabla 2. Criterios para evaluar el proceso de modelación en sistemas físicos.

Categoría	Indicador
Modelo y modelación científica	Formular cuestiones sobre una situación física a ser respondidas por la construcción y/o exploración de un modelo científico.
	Decidir qué tipo de representación construir para responder las cuestiones formuladas.
	Representar una situación física de modo esquemático a la luz de algún campo conceptual específico de la física.
	Analizar la razonabilidad de los resultados obtenidos como una versión del modelo científico construido y/o explorado por medio de la búsqueda de soportes empíricos y/o racionales.
Referente	Delimitar eventos y objetos reales, los supuestos como tales, que componen el sistema físico y el sector (<i>vizinhança</i>) que será objetivo de su representación.
Idealización	Dado un sistema físico, decidir cuáles son los rasgos claves a aprehender.
Aproximación	Dado un sistema físico previamente idealizado, decidir cuáles simplificaciones matemáticas serán asumidas, tales como: despreciar efectos que son pequeños, considerar relaciones lineales, despreciar ruidos, etc.
Variables	Identificar cuáles variables son necesarias para representar el sistema físico y cuáles de ellas pueden asumir valores discretos y cuáles continuos.
Parámetros	Identificar cuáles parámetros son fijos en el tiempo y cuáles variables.
Dominio de validez	Identificar un fenómeno como siendo el caso límite de otro.
Grado de precisión	Dada una idealización, evaluar cuantitativamente y/o cualitativamente el error por la introducción del modelo.
Expansión	Incluir nuevos referentes, variables, parámetros, relaciones y conceptos físicos a fin de obtener resultados más precisos y/o mejores interpretaciones con el modelo.
Generalización	Dado un modelo conceptual y/o matemático, verificar si puede ser útil para representar otros sistemas físicos distintos de aquellos para los cuales fue concebido.

Fuente. Vásques, 2012.

Resultados y discusión

En la Gráfica 3 se representan las relaciones entre indicadores de las categorías de informe de imágenes y del proceso de modelización. Por ejemplo, se encuentra que el mundo imaginario se construye cuando los estudiantes están delimitando aspectos del sistema referencial objetivo. En especial, cuando se determinan los supuestos, objetos y relaciones a tener en cuenta en el modelo inicial del sistema. En tal etapa del proceso de modelización es donde se realizan visualizaciones mentales que dan cuenta de cómo se va configurando el sistema físico en equilibrio.

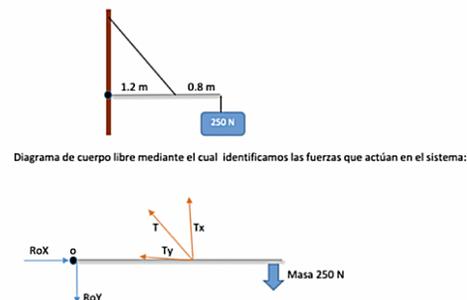
En el proceso de variación de parámetros del sistema, los estudiantes dan cuenta del comportamiento del sistema, haciendo uso de diferentes formatos representacionales (explicación oral y escrita). En particular, los estudiantes describen aspectos visuales de diferentes estados del sistema. Ellos construyen analogías con un sistema conocido (borlas colgadas en el gimnasio) para explicar cómo el sistema se comportaría si las condiciones básicas se mantuvieran constantes o varían. En detalle, los estudiantes realizan movimientos imaginarios que dan cuenta de la variación que le están haciendo al sistema; además, imaginan una estructura sobre la cual hacen variar un parámetro del modelo. Para ello, se evidencia el uso de afirmaciones que dan cuenta que están usando imágenes y a su vez estableciendo relaciones representacionales gráficas. Al respecto, en la gráfica 3, las categorías relacionadas son el informe de imágenes y en la categoría de modelización es la asociada con identificar parámetros fijos en el tiempo y variables.

Cuando los estudiantes están construyendo la maqueta del sistema en equilibrio, recursivamente contrastan los datos que se derivan del modelo matemático que construyeron, las restricciones propias del modelo físico de equilibrio y los principios físicos que direccionan el sistema. Para ello, construyen tablas de datos en la que concretan las variaciones mentales que realizaron en el momento de construcción del modelo del sistema. En la gráfica 4 se presentan los cálculos realizados por los estudiantes aplicando sus modelos matemáticos, bajo la pregunta *qué pasaría si..* (variara algún parámetro).

Gráfica 4. Datos de la variación de parámetros del sistema en el modelo matemático de la situación.

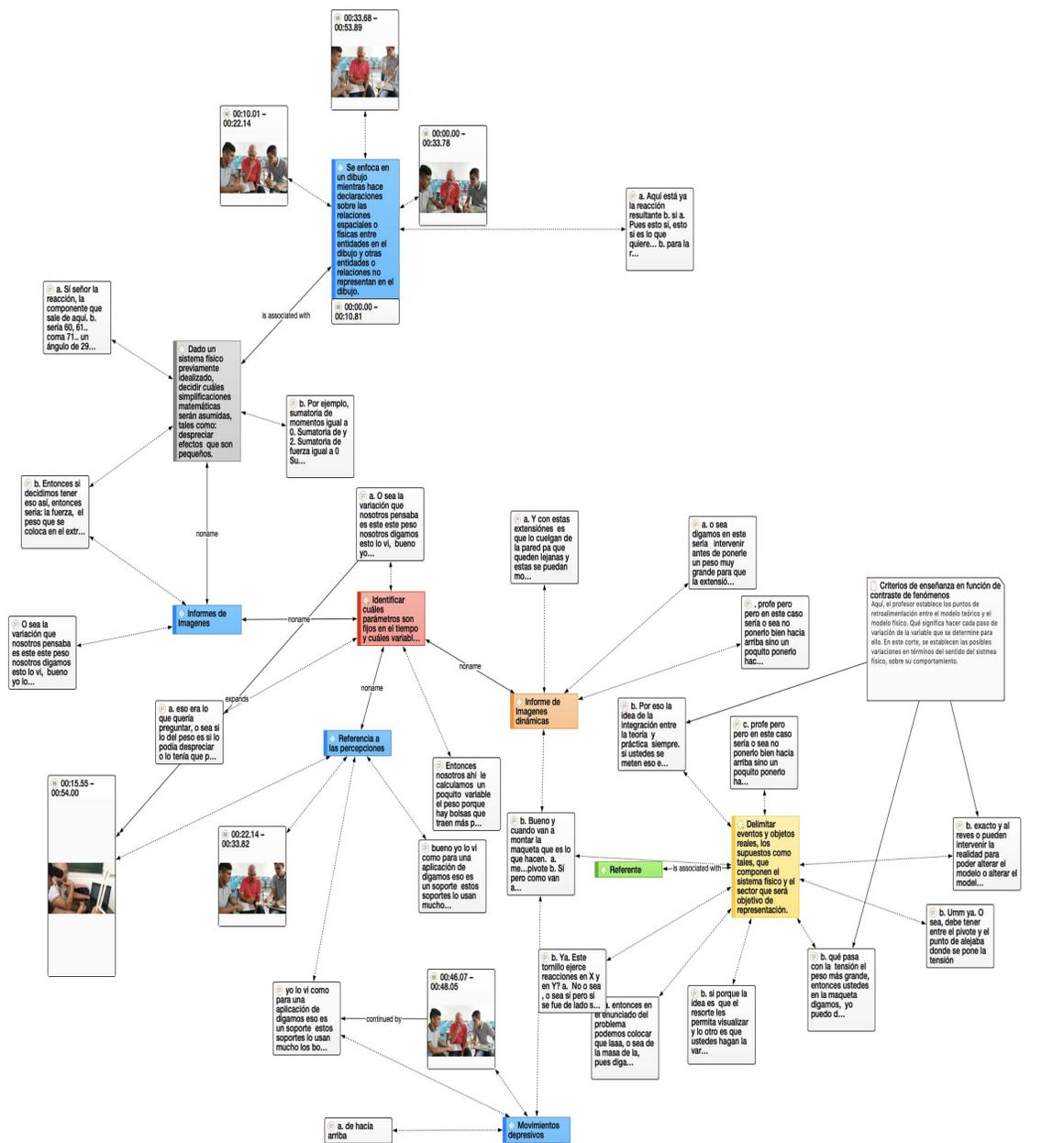
¿Qué pasaría con la RoY si variamos el peso del objeto colgante? $RoY = (508.65)(\text{sen}55^\circ) - W$

Peso	RoY
50	366.6
100	316.6
200	216.6
300	116.6
350	66.6
400	16.6



Fuente. Propia.

Gráfica 3. Informe de imágenes que dan cuenta del proceso de simulación en los estudiantes.



Fuente. Propia.

La Gráfica 5 representa cómo a través del movimiento de la mano (depresivos y de representaciones dinámicas), el profesor y los estudiantes, convienen la dirección positiva de la componente tensión en el modelo matemático. Los movimientos

Lema.

¿Cuál educación científica es deseable frente a los desafíos en
nuestros contextos latinoamericanos? Implicaciones para la
formación de profesores.

depresivos asociado a la dirección del movimiento de objetos, permiten dar cuenta de una simulación que están realizando simultáneamente; y sobre el cual convergen las conclusiones sobre cómo se mueve el sistema.

Gráfica 5. Imágenes de los movimientos depresivos de los estudiantes mientras modelizan.



Fuente. Propia.

Conclusión

En acuerdo con Reiner, (2006) y Clement, (2017) los estudiantes dentro de sus heurísticas de razonamiento, no hacen uso del pensamiento proposicional propio de la lógica formal, sino que utilizan procesos asociados a la construcción de imágenes dinámicas y simulaciones mentales para construir predicciones sobre el sistema físico – mecánico que se plantea. Esto en buena medida, corrobora la hipótesis de continuidad que defiende las ciencias cognitivas sobre la naturaleza del razonamiento científico. En segunda medida, si bien es cierto que los estudiantes no construyen EM completos, es decir, formulan una hipótesis, visualizan la situación, construyen un modelo y manipulan este modelo para generar una predicción, sus inferencias subyacen a tipologías de EM descriptivos, Explicativos, Evaluativos y pedagógicos, todos emergentes dependiendo de los estadios del proceso de solución del problema.

Referencias Bibliográficas

- Clement, J. (1991). Non formal Reasoning in Experts and in Science Students: The Use of Analogies, Extreme Cases, and Physical Intuition. In J.F. Voss, D. N. Perkins & J. W. Segal (Eds.), *Informal Reasoning And Education* (pp.345-362). Broadway Hillsdale, N J: Lawrence Erlbaum Associates.
- Clement, J. (1994). Use of physical intuition and imagistic simulation in expert problem solving. In D. Tirosh (Ed.), *Implicit and explicit knowledge* (pp. 204–244). Norwood, NJ: Ablex.
- Clement, J. (2008). *Creative model construction in scientists and students: The role of imagery, analogy, and mental simulation*. Amherst, MA, USA: Springer.
- Clement, J. (2009). Analogical reasoning via imagery: the role of transformations and simulations. In B. Kokinov, K.Holyoak & D. Gentner, *New Frontiers in Analogy Research*, (pp 463-472). Sofia: New Bulgarian University Press.
- Clement, J. (2017). Four Levels of Scientific Modeling Practices in Expert Learning. Paper presented at NARST.
- diSessa, A. (2017). Conceptual Change in a Microcosm: Comparative Learning Analysis of a Learning Event. *Human Development*, 60, 1–37.
- Hegarty, M. (2004). Mechanical reasoning by mental simulation. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(6), 281-285.
- Hestenes, D. (2015). Conceptual Modeling in physics, mathematics and cognitive science. *Semiotix*. Retrieved from <http://semioticon.com/semiotix/2015/11/conceptual-modeling-in-physics-mathematics-and-cognitive-science/>.
- Magnani, L. & Li, P. (2007). *Model-Based Reasoning in Science, Technology, and Medicine*. Springer Berlin Heidelberg. New York.



Bogotá, 13 a 15 de octubre de 2021
Modalidad On Line – Sincrónico

Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED. Año 2021. Número Extraordinario. ISSN impreso 0121-3814. E-ISSN 2323-0126.
Memorias del IX Congreso Internacional Sobre Formación de Profesores de Ciencias.

Lema.

¿Cuál educación científica es deseable frente a los desafíos en nuestros contextos latinoamericanos? Implicaciones para la formación de profesores.

-
- Nersessian, N. J. 2008. *Creating scientific concepts*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Reiner, M. (2009). Sensory Cues, Visualization and Physics Learning. *International Journal of Science Education*, 31(3), 343-364.
- Stephens, L., & Clement, J. (2012). The Role of Thought Experiments in Science and Science Learning. In B.J.Fraser, K..Tobi, & C. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education*. (Vol. 24, pp. 157-175). Springer International: Springer.
- Vasques-Brandão, R. (2012). *A Estratégia da Modelagem Didático-Científica Reflexiva para a conceitualização do Real no Ensino de Física* (Doctoral dissertation, Tesis Doctoral leída en el Instituto de Física de la Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Disponible en <http://hdl.handle.net/10183/70335>).
- Yin, R.K. (2009). *Case Study Research*. Thousand Oaks: SAGE publications, 4ta edition.