



Fotografía: *Dendrobates truncatus*
Erik Camilo Gaitan Lopez
Licenciado en Ciencias Naturales: Física, Química y Biología
de la Universidad Surcolombiana.

MODELACIÓN Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL EN LA ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA: UN CAMPO DE ESTUDIO CON MUCHO POTENCIAL PERO POCO EXPLORADO

Computational Modeling and Simulation in Biology Teaching: A Minimally Explored Field of Study with a lot of Potential

Sonia López
Vanessa Arias
María Mercedes Jiménez
Juan Andrés Estrada¹

Fecha de recepción: 10 de marzo de 2015

Fecha de aprobación: 13 de mayo de 2015

Resumen

Este trabajo hace parte de un proyecto de investigación que se inició en el año 2013 y tiene como principal propósito caracterizar los presupuestos epistemológicos, psicológicos y didácticos de los profesores de ciencias (biología, física y química) de la educación básica y media pertenecientes a instituciones educativas del municipio de Medellín y el Área Metropolitana, que implementan actividades de modelación y simulación computacional (MSC) en su práctica docente. Presentamos aquí la síntesis de una revisión de literatura enmarcada en una investigación documental que describe el auge, en las últimas dos décadas, de esta modalidad de uso del computador para la enseñanza de las ciencias, sobre todo en disciplinas como la física y la química, y en menor medida en la biología. Adicionalmente, encontramos en los trabajos que abordan la MSC en biología una ausencia de referentes teóricos que sustenten su postura epistemológica, psicológica y/o didáctica, lo que genera importantes reflexiones para la investigación y formación docente en educación en ciencias.

Palabras clave:

Enseñanza de la biología; modelación y simulación computacional; visión de ciencia; referentes psicológicos y didácticos

¹ Los autores hacen parte del grupo Perspectivas de investigación en Educación en Ciencias PiEnCias-, Facultad de Educación, Universidad de Antioquia, Medellín.

Abstract

This study is part of a research project that aims to characterize the epistemological, psychological and didactic presuppositions of science teachers (Biology, Physics, Chemistry) that implement Computational Modeling and Simulation (CMS) activities as a part of their teaching practice. We present here a synthesis of a literature review on the subject, evidencing how in the last two decades this form of computer usage for science teaching has boomed in disciplines such as Physics and Chemistry, but in a lesser degree in Biology. Additionally, in the works that dwell on the use of CMS in Biology, we identified a lack of theoretical bases that support their epistemological, psychological and/or didactic postures. Accordingly, this generates significant considerations for the fields of research and teacher instruction in Science Education.

Keywords:

Biology teaching; Computational Modeling and Simulation; vision of science; psychological and didactic referents

Introducción

La incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en los procesos de enseñanza y aprendizaje se ha venido desarrollando de manera gradual durante varias décadas. De manera particular, las tecnologías computacionales han tenido un gran impacto en el ámbito educativo, lo que las ha convertido en un importante campo de interés para la investigación en enseñanza de las ciencias (González, Capuano y Zalazar, 2009). Esta perspectiva es compartida por Osborne y Hennesy (2003), quienes sugieren que las TIC crean el espacio para desarrollar el tipo de habilidades analíticas que exige la educación científica contemporánea.

Una mirada a publicaciones en enseñanza de las ciencias nos da una idea del importante papel desempeñado por las TIC dentro de este campo en los últimos años. De tal manera que hoy en día es posible hablar de las TIC como una línea de investigación de la didáctica de las ciencias; si entendemos por línea de investigación:

Una sucesión continua e indefinida de estudios, reflexiones sistemáticas y creativas, indagaciones y discusiones alrededor de un problema, que realizan personas curiosas, enlazadas entre sí y organizadas en uno o varios equipos de trabajo para desarrollar actividades intelectuales y dinámicas, en medio de aciertos y desaciertos, logros, fracasos y éxitos, con el propósito común de construir y/o aumentar conocimientos sobre un determinado tópico. (Agudelo, 2004, p. 1)

Un recorrido histórico por el campo disciplinar de la educación en ciencias puede dar cuenta de la consolidación de esta potencial línea de investigación. Así, Gil, Carras-cosa y Martínez (1999) hacen referencia al papel de las nuevas tecnologías en la educación, como uno de los desafíos que enfrentaría la investigación en didáctica de las ciencias, dado que para esa década el énfasis estaba en los estudios sobre las concepciones alternativas, la resolución de problemas y las prácticas de laboratorio, como temas “prioritarios” en la enseñanza de las ciencias.

Posteriormente, Moreira (2003), al referirse a la investigación en educación en ciencias, hace énfasis en tópicos sobre los que se cuenta con un amplio conocimiento producido y otros en los que existe muy poca producción, y en estos últimos ubica lo relativo a nuevas tecnologías en la enseñanza de las ciencias. Si bien el autor no hace referencia explícita a líneas de investigación, se refiere a las TIC como uno de los tópicos de investigación en educación en ciencias.

Por otro lado, en el *Seminario internacional sobre el estado actual de la investigación en enseñanza de las ciencias*, Cachapuz et al. (2006) plantearon que las TIC se constituyen en un foco de investigación altamente prometedor en enseñanza de las ciencias, o línea de investigación a trabajar en el futuro. En este mismo año, Vidal (2006) hace un gran aporte para la consolidación de las TIC como línea de investigación, afirmando que la integración de estas en la educación se ha convertido en centro de atención en el ámbito educativo; y que prueba de ello son las numerosas publicaciones, eventos científicos, investigaciones, experiencias, proyectos, entre otros, surgidos sobre el tema. También Garritz (2010) se refiere a los paradigmas actuales de la enseñanza de las ciencias, es decir, a las nuevas expectativas de aprendizaje en este siglo, y entre ellos se remite explícitamente a las TIC. En el ámbito colombiano, Zambrano, Salazar López, Candela y Villa García (2013) otorgan a las TIC el carácter de línea de investigación y advierten que estas cuentan con un desarrollo incipiente, que no refleja aún un crecimiento en el contexto nacional.

No obstante, el interés que se ha generado en los últimos años en esta línea de investigación de la didáctica de las ciencias se refleja en el creciente número de trabajos que existen acerca del uso del computador en los procesos de enseñanza y aprendizaje, en mayor cantidad en el área de física y en menor medida en áreas como química y biología. El uso del computador, principalmente, como herramienta en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias brinda varias posibilidades: tratamiento de cálculos, diseño de gráficas, instrumento de medición, instrumento de adquisición y procesamiento de datos, y la modelación y simulación de fenómenos científicos. Modos de uso que por sus características tienen

mayor aplicabilidad en el área de física, mientras que la biología es el área de las ciencias que se ha visto menos beneficiada por el uso de herramientas computacionales en el proceso de enseñanza-aprendizaje. No obstante, de acuerdo con Capuano (2011), todas estas estrategias o modalidades del uso de TIC debieran traducirse en sujetos de investigación, la simulación, en especial, dado que es el tipo de aplicación de las TIC mayoritariamente empleado en la enseñanza de las ciencias.

Tomando en cuenta estas consideraciones, en el año 2013 se dio inicio a un proyecto de investigación cuyo propósito es caracterizar los presupuestos epistemológicos, psicológicos y didácticos de los profesores de ciencias naturales de la educación básica y media pertenecientes a instituciones educativas del municipio de Medellín y el Área Metropolitana, que implementan actividades de modelación y simulación computacional (MSC) en su práctica docente. Para este artículo en particular, se presenta un acercamiento a las preguntas: ¿cuáles son las principales características de los trabajos que implementan actividades de MSC para la enseñanza de la biología?, y ¿cuáles son los principales referentes teóricos que fundamentan la implementación de actividades de MSC para la enseñanza de la biología? Refiriéndonos exclusivamente a la MSC, asumiéndola como una modalidad de uso de las TIC altamente promisorio para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, que posibilita el diseño e interacción con modelos conceptuales que, por lo menos en principio, puedan ser implementados en el computador y tengan fines didácticos.

A manera de antecedente, es importante mencionar que las revisiones de literatura más recientes que hemos conocido se han concentrado de manera general en el uso de TIC en la educación (Osborne y Hennessy, 2003; Hennessy et al., 2010; Claro, 2010; Nussbaum y Rodríguez, 2010; Méndez, 2011; Vacchieri, 2013; Lizárraga, 2014; Hernández, Jurado y Romero, 2014); otras, en el uso de TIC en la enseñanza de las ciencias (Murphy, 2003; Capuano, 2011; Scalise et al., 2011; Smetana y Bell, 2012); y de manera más específica, revisiones de literatura que se han concentrado en el uso de TIC para la enseñanza de la física y la química (Araujo, Veit y Moreira, 2004; Sosa y Monsalve, 2008). En ninguna de ellas se aborda de manera particular el uso de la modelación y/o simulación computacional para la enseñanza de la biología.

Acerca de la modelación y simulación computacional

Modelación y simulación computacional son dos términos utilizados en muchas ocasiones de manera indiscriminada, lo que hace necesario establecer claridad en rela-

ción con la manera en que cada uno de ellos es comprendido en el ámbito de este trabajo. Al respecto, Lawrence (2006) indica que existen diferentes tipos de actividades que pueden ser implementadas con el uso de herramientas computacionales, y hace una escueta clasificación, de acuerdo con su uso, en actividades de animación, simulación y modelación. Desde su perspectiva, la animación permite la observación de una secuencia predeterminada, posibilitando —por decirlo de alguna manera— el sentir de los pensamientos de otros. Las simulaciones permiten al usuario hacer modificaciones en la entrada de valores y observar cómo varían los resultados, con lo que se alcanza una comprensión funcional de los pensamientos de otros. Este autor concibe la modelación como una actividad que permite el cambio de reglas y de entrada de valores, observar la variación en los resultados obtenidos, facilitar una lectura de los pensamientos de otros, mientras se da la posibilidad de hacer modificaciones para expresar su propio pensamiento. Desde la perspectiva de este autor, es la habilidad para alterar las reglas lo que se entiende como modelación, y esta condición la hace diferente de actividades como la animación o la simulación.

En esta misma línea, Rogers (2006) se refiere a la modelación y simulación computacional, estableciendo una comparación entre el *software* utilizado para cada uno de estos propósitos. Afirma que existe una obvia distinción en el diseño de la interface del usuario, ya que el *software* de modelación es usualmente de un diseño genérico, simbólico (por ejemplo: el *software Stella, Excel y Modelus*), mientras que las simulaciones usualmente ofrecen una interface gráfica personalizada a las necesidades del tema en consideración. Otra diferencia significativa que establece el autor es que, aunque cada simulación emplea un modelo matemático como una “máquina” para realizar cálculos, el modelo con frecuencia no es explícito o accesible al usuario. En contraste con esto, el *software* de modelación permite el acceso a todas las definiciones matemáticas en el modelo a ser analizado y, si se desea, puede ser editado y modificado.

En este sentido, Araujo, Veit y Moreira (2007) consideran que estos dos tipos de actividades se distinguen por el acceso que el alumno tiene al modelo matemático o icónico subyacente a la implementación de la actividad. Es decir, desde la visión de estos autores, en una simulación computacional que representa un modelo físico, el estudiante puede insertar valores iniciales para variables, alterar parámetros y, de forma limitada, modificar las relaciones entre las variables. Sin embargo, no tiene autonomía para modificar la estructura de la simulación (modelo matemático o icónico preespecificado), o sea, acceso a los elementos más básicos que la constituyen. La interacción del estudiante con la simulación tiene un carácter eminentemente exploratorio, mientras que en la modelación

computacional, tiene acceso a los primitivos (estructura básica o fundamental) que constituyen el modelo computacional, con opción de modificarlos, construirlos desde el principio y reconstruirlos conforme desee.

A partir de las consideraciones anteriores, es claro que la implementación de la modelación computacional en el aula representa tanto para profesores como estudiantes, una actividad altamente demandante: exige dominio de conceptos científicos y de los respectivos modelos matemáticos que constituyen la estructura del modelo computacional, así como el manejo (en muchos casos) de un determinado lenguaje de programación. Esta puede ser una de las razones por las cuales se encuentra en la revisión de literatura un escaso número de trabajos en este campo, mientras que predomina la enseñanza de conceptos científicos a partir del uso de simulaciones computacionales.

Modelación y simulación computacional en la enseñanza de las ciencias a la luz de referentes epistemológicos, psicológicos y didácticos

Aunque el interés del presente trabajo se limita a la enseñanza de la biología como campo particular de la enseñanza de las ciencias, es importante remitirse a este contexto más amplio para comprender la implementación de actividades de modelación y simulación computacional como una manera de recrear la actividad de modelación científica, entendida esta última como un proceso de construcción de modelos con el propósito de apresar la realidad (Bunge, 1972; Giere, 1988; Hestenes, 1995; Halloun, 1996, 2004). Se asumen los modelos científicos como representaciones idealizadas y simplificadas de la realidad, diseñados para describir, predecir y/o explicar una cierta situación problema relacionada con algún aspecto del mundo. Sin embargo, como lo menciona Brandão (2011), el profesor de ciencias difícilmente reflexiona en el aula de clase sobre la naturaleza y el papel de los modelos científicos y del proceso de modelación en los contextos científico y educativo.

Investigaciones con y sobre profesores coinciden en señalar que una posible causa de esta dificultad se debe a que en muchas ocasiones sus concepciones epistemológicas son incompatibles con las concepciones actuales de la filosofía de la ciencia, aquellas son, en muchos casos, visiones inadecuadas, deformadas y descontextualizadas (Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, 2002; Bertelle, Iturralde

y Rocha, 2006; Acevedo, Vásquez, Manassero y Acevedo, 2007; Aldana, 2008; Ravanal y Quintanilla, 2010).

Por otro lado, las perspectivas psicológicas —que cumplen un papel relevante para quienes se interesan en los procesos de aprendizaje y construcción de conocimiento por parte de los estudiantes— se encuentran regularmente consignadas en los proyectos educativos institucionales y planes de área que orientan al profesor de educación básica y media en su quehacer docente. No obstante, difícilmente existe un real conocimiento de dichos referentes y, por tanto, estos no trascienden hacia su práctica pedagógica. Y cuando en el aula de clase son implementadas algunas estrategias de enseñanza, por ejemplo, la modelación y simulación computacional; no necesariamente estos fundamentos teóricos entran en juego para soportar y direccionar el desarrollo de tales actividades.

En lo que al saber didáctico se refiere, es necesario que los profesores de ciencias replanteen el uso de las tecnologías computacionales —particularmente de la MSC— para la enseñanza de las ciencias, en términos del propósito didáctico con el que estas son introducidas en el ambiente del aula; dado que el principal objetivo de la utilización de cualquier estrategia para la enseñanza de las ciencias es que posibilite el aprendizaje de conceptos científicos. Al respecto, Santos, Otero y Fanaro (2000) consideran que una utilización de *software* que se limite a poner al alumno frente a la simulación, sin adecuada interacción con el docente y sin el control de ciertas variables didácticas por parte de este, podría conducir a resultados opuestos a los esperados, como aprendizajes puramente mecánicos. En estos términos, toman relevancia no solo la perspectiva didáctica en la que se inscribe el maestro, sino además la coherencia que tenga con las estrategias de enseñanza, aprendizaje y evaluación que elige para llevarlas al aula.

En este orden de consideraciones, es importante no desconocer el aporte de las tecnologías computacionales en la facilitación de procesos propios de la ciencia, como la modelación y la simulación de fenómenos científicos; pero más importante aún es asumir una actitud crítica frente a la implementación de las TIC en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, lo que implica un ejercicio de reflexión por parte de los profesores de ciencias en relación con aspectos de corte epistemológico, psicológico y didáctico.

Metodología

La presente revisión de literatura se enmarca en una investigación documental mayor que busca conocer el estado actual —estado del arte— de la investigación en el campo de la modelación y simulación computacio-

nal en la enseñanza de las ciencias naturales; y se presentan aquí de manera particular los resultados para el área de biología. Para su desarrollo, se contemplan algunos elementos metodológicos planteados por Hoyos (2000), como los *núcleos temáticos*, entendidos como los subtemas que delimitan el campo de conocimiento; es decir, aquellos asuntos que ayudan a acotar el objeto de estudio y a identificar con mayor facilidad las fuentes de información. Otro elemento metodológico lo constituyen las *unidades de análisis*, que hacen referencia a un texto individual (cualquiera que sea su carácter: libro, ensayo, tesis, artículo, etc.) seleccionado para revisión y análisis. Además, a los aspectos que destacan elementos de relevancia a señalar o a distinguir en una unidad de análisis, se les denomina *factores*.

Atendiendo a estas recomendaciones metodológicas fueron definidos tres núcleos temáticos denominados *referentes epistemológicos del uso de MSC en enseñanza de la biología*, *referentes psicológicos del uso de MSC en enseñanza de la biología* y *referentes didácticos del uso de MSC en enseñanza de la biología*; núcleos a la luz de los cuales se valora la totalidad de las unidades de análisis. En concordancia con el propósito de la investigación, los factores considerados a partir de cada unidad de análisis se refieren a la delimitación contextual de las unidades de análisis, al nivel educativo en el que se implementa la propuesta, a las principales temáticas de biología abordadas, así como a los principales *software* de modelación y/o simulación computacional utilizados; elementos que toman relevancia en el proceso de contextualización, análisis e interpretación de cada unidad de análisis.

Asimismo, se recurre al análisis de contenido como procedimiento de recolección y análisis de la información; entendiendo este como:

El conjunto de procedimientos interpretativos de productos comunicativos (mensajes, textos o discursos) que provienen de procesos singulares de comunicación previamente registrados, que tienen por objeto elaborar y procesar datos relevantes sobre las condiciones mismas en que se han producido aquellos textos, o sobre las condiciones que puedan darse para su empleo posterior. (Piñuel, 2002, p. 2)

En este sentido, fueron consultadas cuarenta y cinco revistas científicas en todos sus números, en el contexto mundial; y con una delimitación temporal entre los años 2003 y 2013. Veintitrés del ámbito de la investigación educativa en general, diecinueve de la educación en ciencias; y de manera específica tres publicaciones de educación en biología.

Como resultado de esta revisión bibliográfica, se encontró una amplia gama de trabajos que se relacionaban de manera tangencial con el objeto de estudio de la revisión de literatura que aquí presentamos, pero no todos fueron considerados relevantes para el análisis, dado que no guardaban una profunda correspondencia con los propósitos de este estudio. Entre estos se incluyen los relativos a reflexiones de carácter general sobre la MSC en la enseñanza de las ciencias, reflexiones sobre el uso de TIC en la educación, modelación (no computacional) en ciencias o en otras áreas, reflexiones generales sobre el uso de simulaciones computacionales en ciencias y revisiones de literatura. Pues de acuerdo con los núcleos temáticos ya descritos, para la selección de las unidades de análisis se tuvieron en consideración exclusivamente aquellos trabajos que publican resultados de la implementación de actividades de modelación y/o simulación computacional en la enseñanza de la biología, de los cuales se presentan a continuación los principales resultados obtenidos.

Resultados y discusión

Como ya fue mencionado, este artículo hace parte de un proyecto de investigación en el que uno de sus componentes es una revisión de literatura mucho más amplia, en la que se aborda el uso de la modelación y simulación computacional para la enseñanza de la física, la química y la biología. Los resultados de esta revisión nos muestran que el uso de MSC en la enseñanza de las ciencias se ha concentrado más en unas disciplinas que en otras, siendo la biología el área con menos producción en el campo; en comparación con el número de artículos encontrados para las áreas de física y química.

Y es que aunque cada vez existen más apuestas por incorporar herramientas TIC para abordar principalmente la enseñanza de algunos conceptos biológicos que suelen tornarse un tanto complejos para los estudiantes, el número de trabajos se reduce significativamente cuando el interés se centra de manera específica en estudios que hacen uso exclusivamente de actividades modelación y/o simulación computacional en la enseñanza de la biología. Para el período de revisión 2003-2013, en las fuentes de información exploradas, solo se encontraron cinco artículos relacionados con la MSC en la enseñanza de la biología, que por cumplir con los criterios de la revisión se constituyeron en unidades de análisis para el presente trabajo. Las publicaciones en las que aparecen estos trabajos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Publicaciones sobre MSC en la enseñanza de la biología (década 2003-2013)

Nombre de la revista	# de trabajos
Research in Science Education	1
Journal of Science Education	1
Journal of Science Education and Technology	3

Dado que nuestra búsqueda se orientó a la selección de trabajos que hicieran uso de la MSC para la enseñanza de la biología, esperábamos encontrar un mayor número de estos en revistas que publican artículos del área; por lo que fueron revisadas publicaciones como: la revista *Bio-grafía* (enseñanza de la biología), la *Revista de Educación en Biología* y la *Journal of Biological Education*. Sin embargo, esto no ocurre, como tampoco encontramos trabajos del interés de este estudio en revistas del ámbito de la investigación educativa en general, los únicos trabajos pertinentes se hallaron, finalmente, en publicaciones sobre educación en ciencias. Entonces, del conjunto de trabajos correspondientes a la enseñanza de la biología se hizo una agrupación de los que hacían uso de modelación y/o simulación computacional. El mayor número de publicaciones encontradas se concentran en la única de estas tres revistas que hace referencia concretamente al uso de tecnología en la educación en ciencias (*Journal of Science Education and Technology*), en la que son publicados tres trabajos, durante la década 2003-2013, relacionados con la temática aquí abordada.

Una revisión de estos trabajos a la luz de los factores previamente definidos nos muestra que estos provienen de países como Estados Unidos (Meier, Reinhard, Carter y Brooks, 2008; Jiménez, 2008; Dicks y Sengupta, 2013), Holanda (Borkulo, Joolingen, Savelsbergh y Jong, 2012) y Kenia (Kiboss, Ndirangu y Wekesa, 2004). No encontramos trabajos de investigadores del ámbito latinoamericano relacionados con la temática abordada, pese a atender a ello de modo especial. En cuanto a las poblaciones estudiantiles en las cuales se implementa la MSC para la enseñanza de la biología, destacamos que dos de estas investigaciones se llevan a cabo con estudiantes a nivel universitario: una para estudiantes de biología (Jiménez, 2008) y otra para estudiantes de ciencias forenses (Meier, Reinhard, Carter y Brooks, 2008). Otros dos trabajos son desarrollados con estudiantes de la escuela secundaria (Kiboss, Ndirangu y Wekesa, 2004; Borkulo, Joolingen, Savelsbergh y Jong, 2012); y otro más con estudiantes de cuarto grado de la escuela primaria (Dicks y Sengupta, 2013).

Otro factor o elemento relevante de las unidades de análisis nos indica que la MSC se ha implementado principalmente para abordar temáticas específicas de la biología como selección natural, taxonomía vegetal, biología celular y molecular (tema en el que se enmarcan dos de los trabajos) y calentamiento global.

También es importante mencionar que de los cinco trabajos analizados en relación con la MSC para la enseñanza de la biología, cuatro se refieren exclusivamente al uso de simulaciones; y solo en uno es utilizado el *software* para realizar una actividad de modelación. Además, los programas o *software* utilizados en estos estudios son variados; inclusive en trabajos como el de Jiménez (2008), no se hace explícito el uso de un *software* específico y en cambio se hace referencia a elementos multimedia como animaciones, simulaciones, videos. A partir de dichos elementos se construyen módulos denominados computacionales; con énfasis especial en las simulaciones que permiten trabajar conceptos propios de la biología celular y molecular. Estos conceptos son también abordados en el trabajo de Kiboss, Ndirangu y Wekesa (2004), quienes hacen uso de Visual Basic para diseñar un programa llamado computer-mediated simulations (CMS), que se refiere exclusivamente al uso de simulaciones computacionales para abordar conceptos de este campo de la biología.

De otro lado, Meier, Reinhard, Carter y Brooks (2008) abordan el campo de la taxonomía vegetal, realizando una serie de actividades de laboratorio en las que se hizo uso de simulaciones para estudiar la clasificación del polen. Dichas simulaciones fueron construidas con *QuickTime*, un sistema multimedia completo de acceso libre y capaz de reproducir contenidos de alta calidad en *Internet* a través de diversos dispositivos.

Dicks y Sengupta (2013) hacen uso de una plataforma de modelación llamada NetLogo para abordar el tema de la selección natural; una plataforma bajo el lenguaje de programación Logo, particularmente idónea para construir modelos de sistemas complejos. No obstante, por cuanto es una plataforma de modelación, en este estudio no se construyeron modelos por parte de los estudiantes; más bien fue utilizada como entorno de simulación donde los estudiantes interactuaron con simulaciones previamente construidas, sin posibilidades de hacer modificaciones a las mismas. Mientras que Borkulo, Joolingen, Savelsbergh y Jong (2012) publican el único de los estudios encontrado en esta revisión que hace referencia a actividades de modelación computacional; y para ello, hacen uso de Co-Lab, que proporciona un entorno de aprendizaje en línea con un lenguaje de modelado, así como tablas y gráficos para mostrar los resultados de la ejecución del

modelo; y que permite a los estudiantes experimentar con simulaciones y laboratorios remotos. En este trabajo, el Co-Lab fue usado por los estudiantes para construir su propio modelo sobre el calentamiento global, cuyo comportamiento era comparado con una simulación que les era aportada y en la que se representaba este mismo fenómeno.

El amplio uso de actividades de simulación computacional, en comparación con las actividades de modelación, es sin duda un indicador de la complejidad que señalará-

bamos en párrafos anteriores, dado que requiere el necesario dominio por parte de estudiantes y profesores, no solo de conceptos científicos y los respectivos modelos matemáticos que constituyen la estructura del modelo computacional, sino también (en muchos casos) de un determinado lenguaje de programación.

En la tabla 2 se muestran los principales factores que permiten realizar una caracterización general de los trabajos revisados.

Tabla 2. Factores que caracterizan los trabajos

Factores Trabajos	Delimitación contextual	Población estudiantil	Temática abordada	Tipo de actividad	Software utilizado
Dickes y Sengupta (2013)	Estados Unidos	Escuela primaria	Selección natural	Simulación computacional	NetLogo
Jiménez (2008)	Estados Unidos	Universitario	Biología celular y molecular	Simulación computacional	No se especifica
Kiboss, Ndirangu y Wekesa (2004)	Kenia	Escuela secundaria	Biología Celular y Molecular	Simulación computacional	Visual Basic
Meier, Reinhard, Carter y Brooks (2008)	Estados Unidos	Universitario	Taxonomía vegetal	Simulación computacional	QuickTime
Borkulo, Joolingen, Savelsbergh y Jong (2012)	Holanda	Escuela secundaria Modelación	Calentamiento global	Modelación computacional	Co-Lab

No obstante los pocos trabajos encontrados en relación con la implementación de actividades de MSC para la enseñanza de la biología, estos pueden aportarnos importantes indicios acerca de las principales tendencias en relación con los referentes psicológicos en que se sustentan, las perspectivas y estrategias didácticas que orientan la implementación de la MSC; y las concepciones de ciencia que se vislumbran en la manera como estas actividades son implementadas en el aula de clase.

Principales referentes epistemológicos para la MSC en la enseñanza de la biología

Es importante aclarar que este núcleo temático tiene como principal propósito identificar la concepción de la naturaleza de la ciencia que se devela en los trabajos revisados, ya que ninguno de ellos describe de manera explí-

cita dicha visión. Tal labor implicó realizar una lectura crítica de cada uno de los trabajos y llevar a cabo un proceso de interpretación por parte de los autores, enfocándonos principalmente en la concepción de modelo que se adopta en cada estudio y que se constituye, precisamente, en el centro de la reflexión epistemológica que sustenta el uso de actividades de MSC en la enseñanza de las ciencias.

De esta manera, podría decirse que dos de los trabajos dejan entrever una concepción positivista de la ciencia, como es el caso del trabajo realizado por Kiboss, Ndirangu y Wekesa (2004), quienes a pesar de considerar la simulación como una simplificación de la realidad que omite o cambia detalles, asumen que esta lo que hace es proporcionar a los estudiantes un entorno y oportunidad de probar o llevar a cabo experimentos con seguridad y eficiencia. Esta concepción del proceso de simulación

computacional, que retoman de autores como Alessi y Trollip (1991) y Makau (1999), deja ver la actividad experimental como un proceso de verificación de teorías que nos remite necesariamente a una visión rígida y dogmática del conocimiento científico.

Del mismo modo, el trabajo realizado por Meier, Reinhard, Carter y Brooks (2008) podría ser enmarcado en una visión tradicional de la ciencia, pues describe la modelación como una forma de demostrar los componentes que conforman el complejo procedimiento del método de un experto para solucionar problemas; lo que presenta la modelación y la ciencia misma como una actividad exclusivamente de los científicos o expertos, concepción individualista y elitista de la ciencia, tal como lo proponen Fernández, Carrascosa, Cachapuz y Praia (2002). Adicional a esto, las actividades de simulación son abordadas desde un enfoque denominado *modelación cognitiva* propuesto por Meichenbaum (1977), que finalmente es reducido a seis pasos consecutivos a partir de los cuales, según el autor, se logra una instrucción efectiva haciendo uso de un formato de modelación.

De los otros tres trabajos puede intuirse que se asume la ciencia como una construcción social y colectiva, que considera a los estudiantes sujetos de conocimiento y se aleja de posturas dogmáticas en relación con el proceso de construcción del conocimiento. Aquí cabe mencionar los trabajos de Dickes y Sengupta (2013), quienes otorgan un interés particular a las diversas explicaciones que los estudiantes logran construir sobre el fenómeno abordado, a partir de la interacción con las simulaciones. También citamos aquí el trabajo de Jiménez (2008), que critica al método tradicional de laboratorio de ciencias, en el que los estudiantes realizan un experimento, toman apuntes sobre sus datos, y posponen el análisis y la verificación de los resultados para períodos fuera de las horas de clase; Jiménez propone una actividad experimental en la que los estudiantes adquieran previamente un dominio teórico que logren integrar con los procesos de obtención de los datos y análisis de los mismos.

Asimismo, el trabajo de Borkulo, Joolingen, Savelsbergh y Jong (2012) puede ser enmarcado dentro de un paradigma constructivista de la ciencia, pues asume la modelación computacional, de acuerdo con Penner (2001), como la construcción o modificación de modelos de sistemas (dinámicos) que pueden ser simulados. Asimismo, los autores holandeses consideran que esta construcción de modelos y la experimentación con las simulaciones resultantes ayuda a los estudiantes a construir su conocimiento acerca de los sistemas dinámicos complejos, lo que les permite mejorar la adquisición de conocimientos conceptuales del dominio implicado (Clement, 2000),

desarrollar habilidades cognitivas de alto nivel (Doerr, 1997), y favorecer el aprendizaje de habilidades de razonamiento científico (Buckley et al., 2004; Mandinach y Cline, 1996). No obstante, y tal como se planteaba al inicio del texto, Borkulo, Joolingen, Savelsbergh y Jong (2012) admiten que la modelación de sistemas dinámicos contempla tal complejidad que parece ser un proceso difícil para los estudiantes de educación secundaria.

Principales referentes psicológicos para la msc en enseñanza de la biología

La tarea de enseñar implica una relación directa con el aprendizaje, concepto que a su vez conlleva diversas tensiones entre lo psicológico y lo pedagógico, como vías posibles para entender lo que sucede en el sujeto que aprende. Dentro de un enfoque constructivista del aprendizaje, se considera que el estudiante construye de forma activa su propio conocimiento, en el contexto social en el que se desenvuelve y a partir de su conocimiento anterior (Mellado y Carracedo, 1993). O como diría Ausubel (2002), el aprendizaje se constituye en una tarea de construcción esencialmente idiosincrásica en cada individuo, que depende en forma exclusiva de lo que el alumno ya sabe.

No obstante, además del enfoque constructivista del aprendizaje, en el que se enmarca la mayoría de propuestas de enseñanza actuales, existen otros enfoques teóricos como el conductismo, que sigue presente aún en muchas prácticas educativas, y el humanismo, que tiene como propósito fundamental profundizar en el mundo subjetivo del hombre para desarrollar lo mejor de él, lograr su crecimiento humano y su autorrealización.

De estos tres enfoques se derivan diversas teorías de aprendizaje, constituidas en construcciones humanas que buscan interpretar sistemáticamente un área de conocimiento que llamamos aprendizaje. Estas teorías de aprendizaje pretenden describir y explicar cómo se produce el aprendizaje, es decir, cómo aprenden aquí y ahora los seres humanos.

En lo que se refiere al enfoque constructivista predominante en la actualidad, puede verse este como un enfoque filosófico que se ocupa de cómo el individuo conoce a partir de la construcción de su propia estructura cognitiva, pues los principios o postulados constructivistas coinciden en señalar que el desarrollo y el aprendizaje humanos son básicamente el resultado de un proceso de construcción. De este modo, el constructivismo es una concepción educativa y psicológica, fundamentada en la importancia crucial que tiene para los individuos el “construir significados”. Por su parte, la *construcción del conocimiento* se concibe como un proceso en el cual interactúan los cono-

cimientos adquiridos (conceptos previos o preconcepciones) y la información nueva que procede normalmente del material de aprendizaje. A partir de estas dos fuentes de información el sujeto construye nuevos conocimientos.

En el análisis de los trabajos que implementan actividades de MSC para la enseñanza de conceptos de la biología, encontramos que aunque no todos hacen explícitos sus referentes teóricos de aprendizaje, en gran medida sus reflexiones se enmarcan en un enfoque constructivista y dos de ellos se apoyan explícitamente en el cambio conceptual. El estudio de Borkulo, Joolingen, Savelsbergh y Jong (2012) hace referencia explícita a la modelación como estrategia para facilitar el cambio conceptual. No obstante, en el desarrollo del texto no se pone de manifiesto dicho referente teórico ni en la implementación de las actividades de modelación computacional, ni en el análisis de los resultados del estudio. Algo similar ocurre con el trabajo de Dickes y Sengupta (2013), en el que se valora el desarrollo conceptual de los estudiantes a partir de dos estudios de caso en concreto: desde la perspectiva del cambio conceptual, aunque no es realmente explícito el papel de la teoría en este proceso; y desde la perspectiva de Piaget, con referencia a su comprensión de desarrollo cognitivo, pero sin profundizar en el aporte de este autor para el desarrollo del estudio y análisis de los resultados.

Del trabajo de Jiménez (2008), podría decirse que se desarrolla en un marco constructivista del aprendizaje, pues da una gran relevancia a las concepciones previas de los estudiantes, antes de enfrentarse al uso de actividades de simulación computacional. De manera particular, esta autora toma como referente el pensamiento crítico (Fisher, 2001), que involucra cuestionamiento y un ejercicio de metacognición por parte de quien aprende, lo que implica una participación activa en su proceso de aprendizaje. No obstante, al igual que en los casos anteriores, no es clara la manera en que este referente teórico se pone en juego en el proceso de interacción con simulaciones computacionales.

Por otro lado, el trabajo de Meier, Reinhard, Carter y Brooks (2008) aborda como referente la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia de Mayer (2001), en la que se asume que los humanos poseen sistemas separados para procesar el material visual y verbal, y que el aprendizaje significativo implica un procesamiento cognitivo que incluye la construcción de conexiones entre las representaciones visuales y verbales. Se resalta de este estudio que el desarrollo de la intervención y el análisis de los resultados se llevan a cabo a la luz de la teoría mencionada y en relación con el concepto de carga cognitiva, el cual es central en el aprendizaje multimedia. Por último, hacemos referencia al trabajo de Kiboss, Ndirangu y Wekesa

(2004), en el que no se logra identificar referente teórico alguno que oriente el estudio en relación con el aprendizaje, pese a plantear como problema de investigación el hecho de que los estudiantes presentan bajo rendimiento e interés por el estudio de la biología, atribuido principalmente al método de enseñanza de los docentes y a la falta de recursos didácticos adecuados. No obstante, pueden vislumbrarse algunas acciones enmarcadas en el constructivismo, referentes a favorecer el trabajo en grupo y el papel del profesor como facilitador en el proceso de aprendizaje.

Perspectivas y estrategias didácticas que orientan la implementación de la MSC en la enseñanza de la biología

En lo que se refiere a la perspectiva didáctica, para este núcleo se tienen en cuenta, entre otros elementos: las diferentes estrategias didácticas desde las cuales se orienta el uso de MSC computacional para la enseñanza de conceptos biológicos, los medios propuestos para que el estudiante interactúe con la aplicación, y el trabajo individual o colectivo. Lo que se devela en mayor medida es el uso meramente instrumental de los modelos y/o simulaciones en el aula de clase, con el predominio del uso de instrucciones precisas y cuestionarios. En esta línea podemos citar el trabajo de Kiboss, Ndirangu y Wekesa (2004), quienes proponen la interacción con *software* a partir de instrucciones precisas contempladas en un manual, seguidas en equipos conformados por cinco estudiantes cada uno y con el apoyo del profesor. No es clara la razón para conformar equipos con un número tan alto de estudiantes, lo que, consideramos, puede ser contraproducente para este tipo de actividades, pues en muchas ocasiones el trabajo se concentra en un número reducido de integrantes.

En el trabajo publicado por Dickes y Sengupta (2013), no se hacen explícitas las estrategias didácticas implementadas para apoyar la actividad de simulación computacional en el aula de clase. No obstante, una valiosa estrategia para el trabajo con simulaciones puede entresverse cuando los autores hacen referencia a que les es solicitado a los estudiantes realizar predicciones antes de interactuar con la simulación; posteriormente, estos ejecutan la simulación observando lo que en ella sucede; por último, deben aportar explicaciones a partir de una entrevista guiada. Aunque no se manifieste de manera explícita, encontramos que esta estrategia para implementar actividades de simulación computacional está inspirada en lo que Tao y Gunstone (1999) denominan el método POE (predecir-observar-explicar); que consiste en realizar una predicción antes de interactuar con el pro-

grama de simulación, explicar su predicción, ejecutar el programa para observar y poner a prueba su predicción; y reconciliar alguna discrepancia entre su predicción y la observación realizada en la simulación. Este método ha sido ampliamente utilizado por autores como Thornton y Sokoloff (1997), Kearney (2002), Zacharia (2005), y Slisko y Medina (2007), para la enseñanza de conceptos físicos a través del uso de herramientas computacionales; pero bien podría ser implementado para el uso de estas en la enseñanza de las ciencias en general.

De otro lado, Jiménez (2008) hace referencia al uso de módulos computacionales que incluyen no solo simulaciones, sino también animaciones y videos; e implementa también las predicciones como estrategia didáctica, apoyadas por el protocolo de actividad experimental y el trabajo en grupo. No obstante, este trabajo hace un mayor énfasis en la resolución de problemas como eje fundamental de la enseñanza de las ciencias, lo que, de acuerdo con la autora, permitió a los estudiantes aprender a usar el computador como una herramienta de investigación para obtener información necesaria en la solución de problemas. En este mismo enfoque de la resolución de problemas, se ubica el trabajo de Meier, Reinhard, Carter y Brooks (2008), quienes realizaron una serie de actividades de laboratorio a partir del uso de simulaciones, dando una amplia relevancia a la estrategia de la retroalimentación tardía, desde la perspectiva de Van Merriënboer, Kester y Paas (2006), que, de acuerdo con los autores, favorece ampliamente la transferencia de conocimientos en las ciencias naturales.

Por último, es importante destacar el trabajo de Borkulo, Joolingen, Savelsbergh y Jong (2012), quienes realizan actividades de modelación computacional con un enfoque de investigación guiada, coherente con el modelo didáctico por investigación descrito por Ruíz (2007); a partir del cual llevan a cabo un trabajo basado en experimentos, apoyándose además en las predicciones, así como en la comparación entre el modelo construido por el estudiante, con la simulación que le era aportada.

En este núcleo temático es importante resaltar que asuntos concernientes al currículo, a la evaluación, a las concepciones que se tienen frente al aprendizaje, entre otros, en los que podemos ver reflejada la perspectiva didáctica y que se esperaría estén en coherencia con la orientación que se haya elegido para enseñar, se convierten en elementos difícilmente identificables en los trabajos revisados.

Independientemente de las diferencias significativas que se encuentran en estos trabajos a partir de la descripción de los factores y el análisis e interpretación de sus núcleos

temáticos, es de resaltar que cada uno de ellos hace un importante aporte para el aprendizaje de temáticas de la biología a partir del uso de actividades de modelación y simulación computacional: fomento de habilidades en los estudiantes para interactuar con modelos, elaboración explicaciones acerca de modelos, adquisición de destrezas para la resolución de problemas, actitud positiva de los estudiantes en la clase y con respecto a la temática, así como la posibilidad de realizar una transferencia de conocimientos hacia otros dominios de las ciencias naturales. En el caso concreto del profesor, los trabajos mencionados coinciden en mostrar una transformación de su rol como instructor, que consiste más en un facilitador que guía y coordina el proceso de aprendizaje. De manera particular, el estudio realizado por Jiménez (2008) destaca como un valioso aporte para el aprendizaje el hecho de que los estudiantes hayan aprendido a usar el computador como una herramienta de investigación para obtener información que favorezca la solución de problemas; una aptitud deseable desde la perspectiva de Capuano (2011), quien —como ya fue mencionado— considera que todas las estrategias o modalidades del uso de TIC debieran traducirse en sujetos de investigación.

Consideraciones finales

Uno de los resultados que devela este trabajo se refiere a la escasez de publicaciones relacionadas con la implementación de actividades de modelación y/o simulación computacional para la enseñanza de la biología; lo que se constituye en un elemento que nos invita a reflexionar acerca de la subutilización de esta modalidad de uso del computador, por el posible desconocimiento de su potencialidad para enriquecer la enseñanza de esta disciplina, al propiciar el desarrollo de procesos de construcción de conocimientos, el trabajo en grupo y la toma de decisiones; así como el desarrollo de procesos epistémicos relevantes como: la disertación, la argumentación, la validación e intercambio de significados y la construcción de representaciones y explicaciones alrededor de los conceptos biológicos. Este resultado sugiere también una oportunidad para reflexionar sobre la manera de favorecer procesos de aprendizaje desde la perspectiva de enfoques psicológicos y didácticos que permitan orientar el uso de actividades computacionales en el aula de clase de una manera crítica y reflexiva, y no desde una orientación netamente instrumental o demostrativa, como acostumbra hacerse tradicionalmente.

Un aspecto que sorprende en esta revisión de literatura es la carencia de trabajos relacionados con el uso de la msc para la enseñanza de la biología concretamente en el ámbito latinoamericano; como se mencionó antes, solo se halla alguna producción en países ajenos a este contexto

—Estados Unidos, por ejemplo—, donde se asume que la relación tecnología-educación está mejor estructurada. No obstante, en países como Colombia existen actualmente importantes apuestas que desde los entes gubernamentales se han generado con el propósito de dotar a las instituciones educativas con computadores y diversos recursos tecnológicos (tabletas, pizarras virtuales, etc.). Apuestas que en gran medida han sido generadas tras la creación, en el año 2009, del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) que en asociación con el Ministerio de Educación Nacional (MEN) desarrolla una serie de programas como: Programa de Uso de Medios y Tecnologías de la Información y Comunicaciones (MTIC), Computadores para Educar, Creación de Habilidades para el Uso de TIC en el Desarrollo Productivo, Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada (RENATA), Proyecto de Innovación con Uso de Aulas Móviles, Raíces de Aprendizaje Móvil, Computadores para la Paz; así como programas de capacitación docente en el uso de TIC, entre los cuales se cuenta con Ciudadano Digital, TemÁTICas, Entre Pares, A que te Cojo Ratón y la conformación de los centros de innovación educativa. Estas son iniciativas emprendidas que, se esperaba, propicien un escenario favorable para fomentar en los docentes un uso bien enfocado y crítico de las TIC, y también en los estudiantes, de manera que se aproveche las potencialidades de estas herramientas para el acercamiento al conocimiento y para generar nuevas prácticas de enseñanza centradas en el estudiante y en la construcción del conocimiento, lo que favorecería, asimismo, un cambio en las visiones que se tienen del trabajo con recursos computacionales en el área de biología.

También llama la atención que en los estudios revisados los elementos epistemológicos, psicológicos y didácticos no se hagan explícitos, lo cual hace difícil comprender las articulaciones que tienen entre ellos y, específicamente, frente al uso de las TIC. Es claro que esta es una dificultad previsible en las revisiones de literatura, sin embargo, denota la importancia de sugerir en los estudios que se realicen en esta temática una mayor articulación entre la teoría y la práctica.

Las experiencias encontradas en esta revisión, los tipos de *software* utilizados, los resultados obtenidos en los estudios, son sin lugar a dudas una posibilidad para avanzar en la búsqueda de alternativas en la enseñanza de la biología, algunos de cuyos campos, la biología celular, por ejemplo, se verían enriquecidos por su implementación. La enseñanza de temáticas como el transporte intracelular, la expresión génica, la fotosíntesis y la respiración celular, entre muchos otros, por su alto nivel de abstracción para el contexto normal del aula de clase o del laboratorio escolar, podría ser apoyada con actividades computacio-

nales que favorecieran otras posibles representaciones y, por supuesto, su comprensión. Al abordar conceptos como los trabajados en el campo de la ecología, la zoología, la genética y la ecología de poblaciones, el uso de diferentes *software* de MSC permitiría entender y predecir el comportamiento de estos sistemas complejos; gracias a sus potencialidades para ser utilizados en situaciones en las que no es posible saber con exactitud el comportamiento de un fenómeno, debido a su complejidad o a la incertidumbre sobre las reglas que lo rigen.

Finalmente, considerando la complejidad que en muchos casos implica el abordaje de actividades de modelación computacional, cuyas razones fueron ya mencionadas, en las simulaciones computacionales previamente diseñadas, el profesor puede encontrar otra alternativa para la enseñanza de conceptos científicos que se caracterizan por un alto grado de abstracción, lo cual propiciaría otros modos de representación y de lenguaje. Esto nos lleva a considerar que la inclusión de Tecnologías de la Información y la Comunicación para la enseñanza de las ciencias en general remite hoy, no a la novedad de unos aparatos, sino a nuevos modos de *percepción y de lenguaje* (Martín-Barbero, 1996). Y es que el lenguaje mismo se resignifica a partir de la tecnología, de tal manera que el lenguaje verbal y escrito es complementado hoy por el lenguaje iconográfico, la imagen digital y los variados sistemas de representación que traen consigo nuevas maneras de pensamiento visual (Duarte, 2003).

Atendiendo a las anteriores consideraciones, se asume que la investigación en el marco de esta línea debería concentrarse en aportes a la consolidación de las TIC como una línea de investigación en educación en ciencias; aportes que permitan trascender el carácter instrumental que se le ha dado a las TIC y priorizar el papel que desempeña en los procesos de construcción de conocimiento científico, así como las posibilidades que ofrece como recurso didáctico para la enseñanza de las ciencias.

Agradecimientos

Agradecemos al Comité para el Desarrollo de la Investigación (CODI) de la Universidad de Antioquia y su convocatoria programática Ciencias Sociales, Humanidades y Artes 2012, por la financiación total del proyecto de investigación que da lugar a este producto.

Referencias

- Acevedo, J. A., Vázquez, A., Manassero, M. A., y Acevedo, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: aspectos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(2), 202-225. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: http://venus.uca.es/eureka/revista/Volumen4/Numero_4_2/Acevedo_et_al_2007.pdf
- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M., y Estany, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 465-476. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v-20n3/02124521v20n3p465.pdf>
- Agudelo, M. A. (2004). Una aproximación a la consolidación de líneas de investigación desde la educación, la comunicación y la tecnología. *Revista ierRed: Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa*, 1(1), 1-8. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://revista.iered.org/v1n1/pdf/magudelo.pdf>
- Aldana, G. (2008). Enseñanza de la investigación y epistemología de los docentes. *Educación y Educadores*, 11(2), 61-68. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://educacionyeducadores.unisabana.edu.co/index.php/eye/article/viewArticle/731/1709>
- Allessi, S. M., y Trollip, S. R. (1991). *Computer Based Instruction: Methods and Development* (2.ª ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Araujo, I. S., Veit, E. A., y Moreira, M. A. (2004). Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de Física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 4(3), 5-18. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/producao/IIIEBIEC.PDF>
- Araujo, I. S., Veit, E. A., y Moreira, M. A. (2007). Um estudo exploratório sobre as potencialidades do diagrama AVM na aprendizagem significativa de tópicos de Física. *INDIVISA: Boletín de Estudios e Investigación*, (8 extra.), 503-514.
- Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento: una perspectiva cognitiva*. Barcelona: Paidós Ibérica, S. A.
- Bertelle, A., Iturralde, C., y Rocha, A. (2006). Análisis de la práctica de un docente de Ciencias Naturales. *Revista Iberoamericana de Educación*, 37(4), 1-9. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://www.rieoei.org/deloslectores/1196bertelle.pdf>
- Borkulo, S. P., Joolingen, W. R., Savelsbergh, E. R., y Jong, T. (2012). What Can Be Learned from Computer Modeling? Comparing Expository and Modeling Approaches to Teaching Dynamic Systems Behavior. *Journal of Science Education and Technology*, 21(2), 267-275. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10956-011-9314-3#page-1>
- Brandão, R. V. (2011). Modelagem científica no ensino de Física: conceitualização, progressividade e domínio por parte de professores em formação continuada. Exame de qualificação ao doutorado no publicado, Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Buckley, B. C., Gobert, J. D., Kindfield, A. C. H., Horwitz, P., Tinker, R. F., Gerlits, B., Wilensky, U., Dede, C., y Willett, J. (2004). Model-Based Teaching and Learning with BioLogica[TM]: What do they learn? How do they learn? How do we know? *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 23-41. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <https://ccl.northwestern.edu/papers/2004/model-based-teaching.pdf>
- Bunge, M. (1972). *Teoría y realidad*. Barcelona: Ediciones Ariel.
- Capuano, V. (2011). El uso de las TIC en la enseñanza de las ciencias naturales. *Virtualidad, Educación y Ciencia*, 2(2), 79-88. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://www.revistas.unc.edu.ar/index.php/vesc/article/view/335/334>
- Cachapuz, A., Praia, J., y Jorge, M. (2004). Da educação em ciência às orientações para o ensino das ciências: um repensar epistemológico. *Ciência & Educação*, 10(3), 363-381. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v10n3/05>
- Cachapuz, A., Lopes, B., Paixão, F., Praia, J., y Guerra, C. (2006). Seminario internacional sobre el estado actual de la investigación en enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(1), 167-171. Recuperado el 15 de septiembre de 2015 de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92030115>
- Claro, M. (2010). Impacto de las TIC en los aprendizajes de los estudiantes: estado del arte. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://archivo.cepal.org/pdfs/ebooks/lcw339.pdf>

- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053. Recuperado el 15 de septiembre de 2015 de: <http://www.ecent.nl/servlet/supportBinaryFiles?referencId=9&supportId=1599>
- Dickes, A. C., y Sengupta, P. (2013). Learning Natural Selection in 4th Grade with Multi-Agent-Based Computational Models. *Revista Research in Science Education*, 43(3), 921-953.
- Doerr, H. M. (1997). Experiment, simulation and analysis: an integrated instructional approach to the concept of force. *International Journal of Science Education*, 19(3), 265-282.
- Duarte, J. (2003). Ambientes de aprendizaje: una aproximación conceptual. *Estudios Pedagógicos*, 29, 97-113. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: http://educacion.tamaulipas.gob.mx/formacion/cursos_2011/No8/T4/Ambientes%20de%20aprendizaje.pdf
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A., y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitida por la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 20(3), 477-488. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v-20n3/02124521v20n3p477.pdf>
- Fisher, A. (2001). *Critical thinking: an introduction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Garritz, A. (2010). La enseñanza de la ciencia en una sociedad con incertidumbre y cambios acelerados. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 315-325. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v28n3/02124521v28n3p315.pdf>
- Giere, R. (1988). *Explaining Science. A Cognitive Approach*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gil, D., Carrascosa, J., y Martínez, F. (1999). El surgimiento de la didáctica de las ciencias como campo específico de conocimientos. *Revista educación y pedagogía*, 11(25), 13-65. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/revistaeyp/article/view/5859/5272>
- González, M., Capuano, V., y Zalazar, J. (Octubre, 2009). Sobre cómo evoluciona el uso de las TIC en la enseñanza de la física, en los últimos 10 años. Ponencia presentada en *Reunión Nacional de Educación en la Física XVI*, San Juan, Argentina.
- Halloun, I. (1996). Schematic Modeling for Meaningful Learning of Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1019-1041. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef005/textos/HallounJrst.pdf>
- Halloun, I. (2004). *Modeling Theory in Science Education*. Dordrecht Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Hernández, O., Jurado, H., y Romero, Y. (2014). Análisis de publicaciones hispanoamericanas sobre TIC en escuelas y zonas rurales. *Revista Colombiana de Educación*, 66, 103-126. Recuperado de <http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/RCE/article/view/2589>.
- Hennessy, S., Onguko, B., Harrison, D., Ang'ondi, E. K., Namalefe, S., y Naseem, A., ...Wamakote, L. (2010). Developing the Use of Information and Communication Technology to Enhance Teaching and Learning in East African Schools: Review of the Literature. Centre for Commonwealth Education & Aga Khan University Institute for Educational Development – Eastern Africa, Research Report 1.
- Hestenes, D. (1995). Modeling Software for learning and doing physics. En C. Bernardini, C. Tarsitani y M. Vincentini (Eds.), *Thinking physics for teaching* (pp. 25-66). New York: Plenum Press.
- Hoyos, C. (2000). *Un modelo para investigación documental: guía teórico-práctica sobre construcción de Estados del Arte con importantes reflexiones sobre la investigación*. Medellín: Señal editora.
- Jiménez, L. (2008). Acrecentar la comprensión de los estudiantes en el laboratorio de biología celular y molecular a través del uso de módulos computacionales. *Revista de Educación en Ciencias*, 9(2), 77-81.
- Kearney, M. (2002). *Classroom use of multimedia-supported predict-observe-explain tasks to elicit and promote discussion about students' physics conceptions* (Disertación doctoral no publicada). Curtin University of Technology. Australia.
- Kiboss, J. K., Ndirangu M., y Wekesa, E. W. (2004). Effectiveness of a computer-mediated simulations program in school biology on pupils' learning outcomes in cell theory. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 207-213. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://www.jstor.org/over/10.2307/40188782?sid=21106067801923&uid=2&uid=4>

- Lawrence, I. (Agosto, 2006). Challenges and Opportunities in computational modeling. Ponencia presentada en *GIREP Conference 2006*, Amsterdam.
- Lizárraga, R. E. (2014). Blended-learning afectivo y las herramientas interactivas de la web 3.0: una revisión sistemática de literatura. *Etic@net*, 1(14), 1-21. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://www.grupoteis.com/revista/index.php/eticanet/article/view/45/39>
- Makau, J. (Marzo 29, 1999). Computers in education. *Daily Nation Newspaper*, p. 24.
- Mandinach, E. B., y Cline, H. F. (1996). Classroom dynamics: the impact of a technology-based curriculum innovation on teaching and learning. *Journal of Educational Computing Research*, 14(1), 83-102.
- Martín-Barbero, J. (1996). Heredando el futuro. Pensar la educación desde la comunicación. *Revista Nómadas*, 5.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Meichenbaum, D. (1977). *Cognitive Behavior Modification: An integrative approach*. New York: Plenum. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: [https://books.google.com.co/s?hl=es&lr=&id=ukmq1rNArUC&oi=fnd&pg=PA3&dq=Meichenbaum,+D.+Cognitive+Behavior+Modification:+An+integrative+approach.+New+York:+Plenum.&ots=80GsiXAdiW&sig=W5Ww7VN7_RwBn2ogJWOr5ryBrpg&redir_esc=y#v=onepage&q=Meichenbaum%2C%2D.%20\(1977\).%20Cognitive%20Behavior%20Modification%3A%20An%20integrative%20approach.%20New%20York%3A%20Plenum.&f=false](https://books.google.com.co/s?hl=es&lr=&id=ukmq1rNArUC&oi=fnd&pg=PA3&dq=Meichenbaum,+D.+Cognitive+Behavior+Modification:+An+integrative+approach.+New+York:+Plenum.&ots=80GsiXAdiW&sig=W5Ww7VN7_RwBn2ogJWOr5ryBrpg&redir_esc=y#v=onepage&q=Meichenbaum%2C%2D.%20(1977).%20Cognitive%20Behavior%20Modification%3A%20An%20integrative%20approach.%20New%20York%3A%20Plenum.&f=false)
- Meier, D. K., Reinhard, K. J., Carter, D. O., y Brooks, D. W. (2008). Simulations with elaborated worked example modeling: beneficial effects on schema acquisition. *Journal of Science Education and Technology*, 17(3), 262-273.
- Mellado, V. Y., y Carracedo, D. (1993). Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), 331-339. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v11n3/02124521v11n3p331.pdf>
- Moreira, M. A.X. (2003). Investigación básica en educación en ciencias: una visión personal. *Revista Chilena de Educación Científica*, 3(1), 10-17. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://www.ifufrgs.br/~moreira/Investigacion.pdf>
- Murphy, C. (2003). Revisión de la literatura en ciencias de primaria y las TIC. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00190221/document>
- Nussbaum, M., y Rodríguez, P. (2010). Perspectivas de la inclusión de las TIC en educación y su evaluación en el logro de aprendizajes. En *Conferencia Internacional Impacto de las TIC en Educación*. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: http://licroelrodas.info/admin/Insercion/actividades/a02c5d_TICS%20EN%20EDUCACION.pdf
- Osborne, J., y Hennessy, S. (2003). *Literature Review in Science Education and the Role of ICT: Promise, Problems and Future Directions*. Serie Futurelab. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <https://www.nfer.ac.uk/publications/FUTL74/FUTL74.pdf>
- Penner D. E. (2001). Cognition, computers, and synthetic science: building knowledge and meaning through modelling. *Review of Research in Education*, 25, 1-37. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://www.jstor.org/over/10.2307/1167320?sid=21106068255113&uid=4&uid=2>
- Piñuel, J. L. (2002). Epistemología, metodología y técnicas del análisis de contenido. *Sociolinguistic Studies*, 3(1), 1-42. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: https://www.ucm.es/data/cont/docs/268-2013-07-29-Pinuel_Raigada_AnalisisContenido_2002_EstudiosSociolingüísticaUVigo.pdf
- Ravanel, E., y Quintanilla, M. (2010). Caracterización de las concepciones epistemológicas del profesorado de Biología en ejercicio sobre la naturaleza de la ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 111-124. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: http://www.docenciauniversitaria.org/volumenes/volumen9/ART7_VOL9_N1.pdf
- Méndez, J. C. (2011). Formación de habilidades y actitudes de pensamiento crítico en ambientes virtuales de aprendizaje en la educación universitaria: una revisión bibliográfica. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 34, 35-59. Disponible en internet: <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/329/628>
- Rogers, L. (Agosto, 2006). Motivating teachers and pupils to engage with modeling. Ponencia presentada en *GIREP Conference 2006*, Amsterdam.
- Ruíz, F. J. (2007). Modelos didácticos para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 3(2), 41-60.

- Santos, G., Otero, M. R., y Fanaro, M. A. (2000). ¿Cómo usar software de simulación en clases de física? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 17(1), 50-66. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6785/6250>
- Scalise, K., Timms, M., Moorjani, A., Clark, L., Holtermann, K., y Irvin, P. S. (2011). Student learning in science simulations: Design features that promote learning gains. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(9), 1050-1078. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tea.20437/t?deniedAccessCustomisedMessage=&userIsAuthenticated=false>
- Slisko, J., y Medina, R. (2007). Un curso de mecánica clásica sin conferencias magisteriales: objetivos, elementos del diseño y efectos en los estudiantes. *Latin American Journal of Physics Education*, 1(1), 51-61.
- Smetana, L. K., y Bell, R. L. (2012). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337-1370. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500693.2011.605182#.VP5PQnyG-So>
- Sosa, I. J., y Monsalve, D. Y. (2008). *Estado del arte: Utilización de las Tecnologías de la Información y la Comunicación como estrategia didáctica para la enseñanza de la química entre los años 1986-2006* (Trabajo para optar al título de licenciado en Educación Básica con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental). Facultad de Educación, Universidad de Antioquia, Medellín. Recuperado el 15 de septiembre de 2015 de: <http://ayura.udea.edu.co:8080/jspui/handle/123456789/401>
- Tao, P. K., y Gunstone, R. F. (1999). The Process of Conceptual Change in Force and Motion during Computer-Supported Physics Instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), 859-882. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199909\)36:7<3C859::AID-TEA7%3E3.0.CO;2-J/abstract](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1098-2736(199909)36:7<3C859::AID-TEA7%3E3.0.CO;2-J/abstract)
- Thornton, R. K., y Sokoloff, D. (1997). Using Interactive Lecture Demonstration to create an Active Learning Environment. *The Physics Teacher*, 35, 340-347.
- Vacchieri, A. (2013). *Programa TIC y Educación Básica: Estado del arte sobre la gestión de las políticas de integración de computadoras y dispositivos móviles en los sistemas educativos*. Nueva York: Unicef.
- Van Merriënboer, J. J. G., Kester, L., y Paas, F. (2006). Teaching complex rather than simple tasks: balancing intrinsic and germane load to enhance transfer of learning. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 343-352.
- Vidal, M. P. (2006). Investigación de las TIC en la Educación. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 5(2), 539-552. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://mascvux.unex.es/revistas/index.php/relatec/article/view/293/277>
- Zacharia, Z. C. (2005). The impact of interactive computer simulations on the nature and quality of post-graduate science teachers' explanations in physics. *International Journal of Science Education*, 27(14), 1741-1767.
- Zambrano, A. C., Salazar López, T. I., Candela, B. F., y Villa García, L. Y. (2013). Las líneas de investigación en educación en ciencias en Colombia. *Revista Virtual EDUCyT*, 7, 78-109. Recuperado el 9 de marzo de 2015 de: <http://dintev.univalle.edu.co/revistasunivalle/index.php/educyt/article/view/2277>