

Construcción de modelos 3D para la enseñanza de la Ley de Gauss en forma diferencial¹

Building 3D models in order to teach the Gauss' Law in a differential form

Construção de modelos 3D para o ensino da lei de Gauss em forma diferencial

A.A. Rojas, G.A. Atehortúa, R.G. Márquez, D. Osorio, S. López y C.E. Mora

Recibido Septiembre 03 de 2015 – Aceptado Febrero 19 de 2016

Resumen— En este artículo se muestran algunos resultados de un proyecto de investigación que tenía como principal objetivo involucrar a los estudiantes en actividades de modelación científica a través de la construcción de modelos computacionales. El estudio fue realizado con un grupo de 43 estudiantes de los programas de ingeniería civil y de sistemas, de la Universidad Cooperativa de Colombia – Sede Ibagué, y estuvo fundamentado en la modelación científica, la modelación computacional y la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico. Los principales hallazgos develan que la implementación de la propuesta didáctica fundamentada en situaciones problema a ser modeladas haciendo uso de programas computacionales, favoreció la interacción de los estudiantes, la discusión, la formulación de preguntas de interés sobre la temática de la Ley de Gauss y la construcción de modelos computacionales para representar las situaciones problema planteadas; generándose así la comprensión de conceptos relativos al campo de conocimiento.

Palabras clave — enseñanza de la física, Ley de Gauss, modelación computacional.

Abstract— This article presents some results of a research project aimed mainly to involve students in scientific modeling activities, through building computer models. The study was conducted with a group of 43 students of Civil and Systems Engineering from Universidad Cooperativa de Colombia, located in Ibagué, and was based on the scientific modeling, the computational modeling and the Meaningful Critical Learning Theory. The main findings reveal that the implementation of the didactic approach based on problem situations that were modeled on computer programs, favored student interaction, discussion, the formulation of questions based on the Gauss' Law and the construction of computer models used to represent problem situations presented, generating an understanding of concepts related to the field of knowledge.

Key words — Physics teaching, Gauss' law, computational modeling.

Resumo – Nesse artigo se mostram alguns resultados de um projeto de investigação que tinha como principal objetivo envolver os alunos em atividades de modelagem científica através da construção de modelos computacionais. O estudo foi realizado com um grupo de 43 estudantes dos programas de engenharia civil e de sistemas, da Universidade Cooperativa de Colômbia – Sede Ibagué, e foi baseada em modelagem científica, modelagem computacional e teoria da aprendizagem significativa crítica. As principais conclusões revelam que a implementação da proposta educacional com base em situações-problema a ser modelado, fazendo uso de programas de computador, trouxe à interação dos alunos, a discussão, a formulação de perguntas de interesse sobre o tema da Lei de Gauss e a construção de modelos computacionais para representar as situações problemas postas; gerando assim à compreensão de conceitos relativos ao campo de conhecimento.

Palavras chaves: O ensinamento da física, Lei de Gauss, modelação computacional.

¹Producto derivado del proyecto de investigación “Una estrategia didáctica centrada en las TIC para la enseñanza de las matemáticas y su incidencia en el desarrollo del pensamiento”. Presentado por el Grupo de Investigación LOGIKE, de la Universidad Cooperativa de Colombia (Ibagué).

A.A. Rojas docencia en el programa de Ingeniería de Sistemas, de la Universidad Cooperativa, Ibagué (Colombia); email: angel.rojas@campusucc.edu.co .

G.A. Atehortua docencia SENA, Centro Agropecuario la Granja, Espinal (Colombia); email: senagustavo@misena.edu.co .

R.G. Márquez estudiante en el programa de Ingeniería de Sistemas, de la Universidad Cooperativa, Ibagué (Colombia); email: gilbert1001_@hotmail.com .

D. Osorio estudiante en el programa de Ingeniería de Sistemas, de la Universidad Cooperativa, Ibagué (Colombia); email: dairo93@gmail.com .

S. López docencia en la Facultad de Educación, de la Universidad de Antioquia, Medellín (Colombia); email: sonia.lopez@udea.edu.co

C.E. Mora director del programa de Doctorado en Física Educativa, del Instituto Politécnico Nacional, Mexico D.F. (México); email: ceml36@gmail.com .

Temáticas como la Ley de Gauss y en general, aquellas relacionadas con el concepto de campo en física, sin lugar a dudas se constituyen en componentes fundamentales en la formación de ingenieros. No obstante, la difícil comprensión de estos temas por parte de los estudiantes, se ha constituido en objeto de varias investigaciones [1, 2, 3]. Además, algunos estudios muestran que la mayoría de los estudiantes es incapaz de dar un significado físico al campo independientemente del concepto de fuerza [4, 5, 6] lo que puede deberse a que en el aula se hace énfasis normalmente en el carácter operativo del concepto de campo y sólo un 30% del profesorado admite realizar discusiones cualitativas que clarifiquen el concepto de campo y lo doten de significado [7].

También es importante considerar que el concepto de campo es posiblemente uno de los conceptos más abstractos en física y su abordaje desde modelos estrictamente teóricos, puede constituirse en un obstáculo más que dificulta su aprendizaje; siendo otros posibles obstáculos la representación de este concepto a través de imágenes estáticas y animadas y la carencia de situaciones reales en las que el concepto pueda ser aplicado.

La identificación de estas dificultades dio lugar a la formulación de un proyecto de investigación que tenía como principal propósito involucrar a los estudiantes en actividades de modelación científica a través de la construcción de modelos computacionales, intentando así acercarlos a una mejor comprensión del proceso de producción de conocimiento científico, al considerar la modelación como un elemento fundamental en la construcción de éste [8, 9, 10, 11, 12].

En lo que se refiere a la concepción del proceso de modelación científica, es abordada la postura epistemológica de Mario Bunge [9], entendiendo ésta como un proceso de construcción de modelos con el propósito de apresar la realidad; del cual resultan los modelos conceptuales como explicaciones del mundo, representaciones simplificadas e idealizadas de la realidad [11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23].

En el ámbito de este trabajo nos referimos a la modelación como un proceso de construcción de modelos, a partir del cual los modelos idiosincrásicos y tácitos (representaciones internas) que poseen los estudiantes se conviertan en modelos explícitos (representaciones externas) que se aproximen cada vez más a los modelos científicamente aceptados. Representaciones que pueden ser construidas a partir del uso de herramientas TIC, con el propósito de que éstas permitan convertir los modelos estáticos bidimensionales de los libros de texto, en modelos dinámicos y tridimensionales que favorezcan la comprensión de los conceptos en juego.

A. Acerca de los modelos y la modelación científica

En las últimas décadas, la incursión en el campo de los modelos y de la modelación científica orientada a los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, y la posibilidad de que dicho campo sea orientado desde una perspectiva didáctica fundamentada en la modelación y la simulación computacional, sugieren la necesidad de asumir una visión crítica que implique la asunción de enfoques epistemológicos centrados en la concepción de modelos y modelación científica. Debido a esto, es pertinente abordar la visión epistemológica de Mario Bunge para orientar una enseñanza de las ciencias centrada en los modelos y en la modelación.

Considerando el uso de la modelación en el aula de clase como un enfoque fundamental en la enseñanza de las ciencias, se hace imprescindible ayudar a los estudiantes a aprender acerca de la naturaleza de los modelos científicos, el proceso de construcción de dichos modelos y su utilidad en la predicción y la descripción de los fenómenos del mundo real [24]. Con este propósito, se recurre a la concepción de Mario Bunge [9], acerca de la modelación científica y el papel que desempeñan los modelos científicos en la construcción de conocimiento, con la firme convicción de que estos últimos cumplen un rol fundamental en la enseñanza de las ciencias [21, 25].

Los modelos a los que Bunge hace referencia se construyen como explicaciones del mundo y con el propósito expreso de apresar la realidad, y son asumidos como representaciones simplificadas e idealizadas de ésta y no como la realidad misma.

Esta visión es compartida por diversos autores, quienes pueden considerarse autoridades en relación con las reflexiones realizadas sobre los modelos y la modelación científica [11, 17, 19, 21, 23]. El proceso de construcción de dichos modelos es lo que se entiende como *modelación científica*, considerando que todo modelo científico contribuye a optimizar la comprensión de la realidad, la aprehensión del mundo.

B. La modelación computacional en la enseñanza de la física

Cuando nos remitimos a las TIC en contextos educativos y concretamente a su uso en la enseñanza de la física, es casi seguro que nuestro referente más concreto se enmarca en el uso del computador; posiblemente porque la mayor cantidad de trabajos que se han publicado en relación con el uso de TIC en el aula, hacen referencia a la implementación de herramientas computacionales en los procesos de enseñanza-aprendizaje de conceptos físicos. Y es que el uso del computador como recurso didáctico en la enseñanza

de la física, brinda varias posibilidades que van desde el tratamiento de cálculos, gráficas, como instrumento de medición, como instrumento de adquisición y procesamiento de datos, hasta la realización de simulaciones y modelos computacionales acerca de fenómenos físicos.

A partir de lo anterior, es posible identificar las principales modalidades pedagógicas del uso del computador en la enseñanza de la física en el nivel medio y universitario; entre las cuales se encuentran: instrucción y evaluación mediada por el computador; modelación y simulación computacional; recolección y análisis de datos en tiempo real; recursos multimedia; comunicación a distancia; Resolución algebraica/numérica y visualización de soluciones matemáticas; y estudio de procesos cognitivos [26]. Modalidades pedagógicas del uso del computador, entre las cuales la modelación y simulación computacional suele ser no sólo la más utilizada, sino, posiblemente la de mayor potencial para la enseñanza de la física.

La modelación computacional se ha convertido en una potencial herramienta para la enseñanza de las ciencias, ya que permite dar cuenta de un fenómeno estudiado desde distintos puntos de vista de modo más simple y directo que la experimentación convencional en un laboratorio, convirtiéndose además en un valioso complemento para el trabajo experimental. Asimismo, la modelación computacional permite al estudiante construir una idea, representación, imagen o modelo mental a partir de imágenes externas, necesarias para la comprensión del mundo físico [27].

Entre las herramientas TIC existe una amplia variedad de programas de modelación computacional, algunos de ellos con un lenguaje de programación lo suficientemente asequible como para que los estudiantes con algún dominio de conceptos matemáticos y físicos puedan hacer uso de ellos y crear modelos o representaciones que evidencien su comprensión sobre un determinado fenómeno o concepto de la física.

C. La interacción social y el cuestionamiento

La formulación de preguntas en el aula de clase ha sido tradicionalmente una tarea propia de los docentes, quienes – en muchas ocasiones – esperan que las respuestas de los estudiantes estén expresadas en los términos de sus discursos, negándoles así la posibilidad de cuestionamiento; de tal manera que los estudiantes formulan pocas preguntas en el aula de clase y, además las preguntas frecuentemente formuladas tienen un bajo nivel cognitivo [28, 29]. Esto nos sugiere replantear esta actividad en el aula de clase, al asumir que la formulación de preguntas por parte de los estudiantes es una estrategia cognitiva que les permite lograr habilidades de orden superior [30].

La importancia de que los estudiantes desarrollen la capacidad de formular preguntas tiene un trasfondo

epistemológico; de acuerdo con Bachelard [12], “para un espíritu científico todo conocimiento es una respuesta a una pregunta. Si no hubo pregunta, no puede haber conocimiento científico”.

Enmarcados en la visión de Moreira [31] en relación con la posibilidad de generar un aprendizaje significativo crítico en el aula de clase, nos enfocamos en el primer –y a nuestro modo de ver el más importante– postulado de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico propuesta por este autor, que hace referencia al principio del cuestionamiento; es decir, al acto de enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas.

III. CONSTRUYENDO MODELOS COMPUTACIONALES

A. Metodología de investigación

Como ya fue mencionado, en este artículo se presenta parte de los resultados de un proyecto de investigación que tenía como principal objetivo involucrar a los estudiantes en actividades de modelación científica a través de la construcción de modelos computacionales. En esta parte concreta del estudio, se muestran las construcciones hechas por los estudiantes en el marco de la modelación computacional, a partir de las potencialidades del *software* utilizado y de sus conocimientos previos sobre el tema particular. Para ello fue adoptada una metodología cualitativa del tipo estudio de casos; dado que ésta permite conocer la particularidad y la complejidad de un caso singular, para llegar a comprender su actividad en circunstancias importantes.

Desde esta perspectiva, los casos estuvieron constituidos por los grupos de trabajo conformados por los estudiantes participantes en la investigación.

B. Estudiantes participantes

El estudio se llevó a cabo con un grupo de 43 estudiantes de los programas de ingeniería civil y de sistemas, de la Universidad Cooperativa de Colombia –Sede Ibagué–, que se encontraban matriculados en un curso de física de electricidad, correspondiente al tercer semestre de su carrera; a quienes se les invitó a conformar grupos para diseñar y construir modelos computacionales que facilitaran la comprensión de los conceptos inherentes y el desarrollo matemático de la ecuación de la Ley de Gauss para el campo eléctrico en forma diferencial.

C. Referente metodológico para la construcción de modelos

El proceso de diseño y construcción de modelos se fundamentó en la propuesta de modelación esquemática de

Halloun [16]. Este autor considera los modelos como los mayores componentes del conocimiento de una persona y la modelación como un proceso cognitivo para la construcción y empleo del conocimiento; centrándose en el principio de que, en física, el aprendizaje del alumno será tanto más significativo cuanto mayor sea su capacidad de modelar. Este referencial metodológico es abordado por ser una estrategia instruccional que brinda herramientas para externalizar los modelos conceptuales; pero sobre todo, por su conveniencia para el diseño de las actividades de modelación a partir de los cinco estadios: selección, construcción, validación, análisis y expansión de un modelo.

La Fig. 1 muestra el proceso de modelación esquemática que puede ser sistemáticamente aplicado en el contexto de una teoría conveniente para la construcción de nuevos modelos, refinándolos y empleándolos en situaciones específicas (situaciones del mundo real, experimentos de laboratorio o problemas de libros de texto).

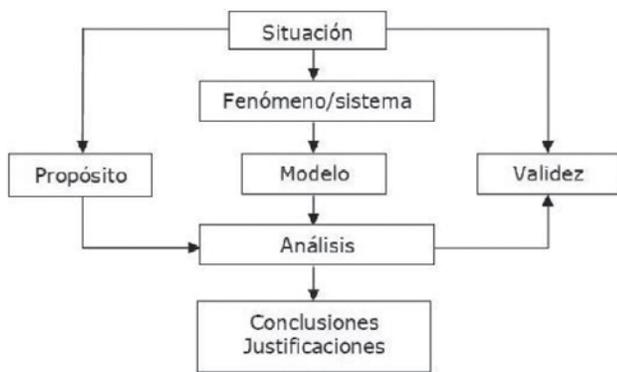


Fig.1. Representación esquemática del proceso de Modelación. (Hestenes *apud* Halloun, [15]).

Este proceso de modelación esquemática se compone de cinco estadios:

- *Selección del modelo:* identificación y descripción de la composición de cada sistema físico de la situación física y del respectivo fenómeno).
- *Construcción del modelo:* el modelador se enfrenta a la actividad de construir modelos.
- *Validación del modelo:* este estadio puede ser simultáneo con la construcción del modelo considerando esencialmente la consistencia interna del modelo.
- *Análisis del modelo:* una vez que el modelo ha sido validado, un análisis puede ser hecho en el sentido de verificar si todos los propósitos están siendo contemplados en el modelo que está siendo construido.
- *Expansión del modelo:* una vez que un modelo fue analizado y completamente validado, algunas

implicaciones pueden ser inferidas en relación al propósito original y a otros propósitos de validación. Esto ayuda al modelador a desarrollar sus habilidades de transferencia.

D. Diseño y construcción de modelos

Con base en el proceso de modelación esquemática de Halloun, se conforman grupos de 3 y 4 estudiantes y se les plantea como situación problema, construir la representación de la ley de Gauss en tres dimensiones, haciendo uso de programas que posibilitan la construcción de modelos computacionales, tales como: *SketchUp*, *Power Point* y *AutoCAD*.

Cabe anotar, que este concepto fue previamente enseñado a los estudiantes, utilizando un tiempo de instrucción de seis horas y teniendo como base para la explicación las representaciones gráficas que aparecen en algunos libros de texto de Física [32, 33].

Los estudiantes eligen el *software* que a su modo de ver les permite construir una mejor representación; y es así como se inicia un ejercicio de trabajo en grupo que tarda un tiempo aproximado de nueve horas; y como producto de su creatividad y del ejercicio de discusión, toma de decisiones, formulación de preguntas; finalmente se obtienen diversos modelos computacionales que dan cuenta de la comprensión adquirida por los estudiantes sobre la ley de Gauss.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Modelos construidos

En las Fig. 2, 3 y 4, se muestran los modelos computacionales construidos por tres grupos de estudiantes para representar la ley de Gauss en tres dimensiones.

Es importante resaltar que una de las principales características de los modelos construidos, es su funcionalidad; es decir, la posibilidad que éstos brindaron a los estudiantes para describir y explicar la situación problema a partir de los diferentes componentes del modelo y de la potencialidad del *software* elegido para construir los modelos.

En la Fig. 2 se muestra un modelo computacional para la Ley de Gauss construido con el programa *SketchUp*; un *software* que permite construir modelos en 3D y rotarlos para tener una visión de los mismos desde diferentes ángulos. Asimismo, permite dibujar todo tipo de líneas y formas, que lo hace apropiado para construir modelos que hagan uso, por ejemplo, de líneas de campo; como es el caso de la temática aquí abordada. *SketchUp* brinda la posibilidad de convertir

un modelo en un conjunto de dibujos que pueden facilitar su comprensión; exporta PDF, imágenes o archivos CAD.

El grupo que construyó este modelo computacional, estuvo constituido por tres estudiantes que interactuaron permanente a partir de preguntas que movilizaban su pensamiento y les permitían llegar a los consensos necesarios para consolidar su modelo. De tal manera que éste se constituyó en una representación, producto de la negociación de significados entre los integrantes del grupo, que proporcionaba evidencias de la conceptualización lograda; y que se acompañó de sus argumentos y explicación.

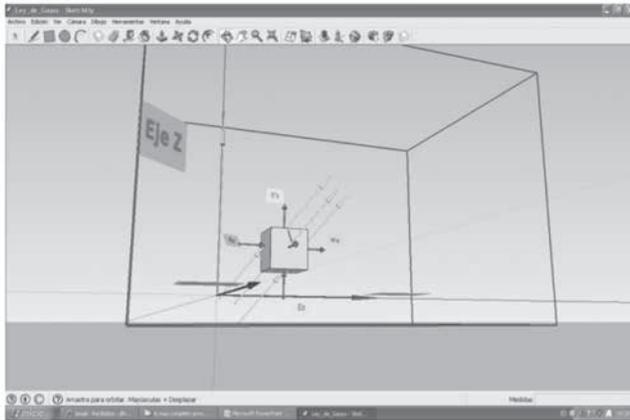


Fig. 2. Modelo computacional construido con *SketchUp*.

En la Fig. 3 podemos observar un modelo computacional construido por los estudiantes para representar la Ley de Gauss, haciendo uso del conocido programa *Power Point*; del que desconocemos muchas de sus potencialidades en términos de modelación, por ser un programa utilizado básicamente para realizar presentaciones. A pesar de sus múltiples limitaciones para la construcción de representaciones en 3D, sus posibilidades para la animación lo convierten en una herramienta valiosa para familiarizar a los estudiantes con el proceso de construcción de modelos computacionales.

El grupo que construyó este modelo computacional, estuvo conformado por cuatro estudiantes que se caracterizaban por sus pocas habilidades en el uso de herramientas computacionales; lo que con seguridad pudo motivarlos a hacer uso de un programa tan básico como el *Power Point*, para construir su modelo. No obstante, lo que nos muestra este grupo de estudiantes, es que independientemente de la herramienta elegida para construir su representación, ésta permitía externalizar la comprensión que habían logrado acerca de la ley de Gauss. Comprensión que fue producto de largas discusiones entre los integrantes, que se centraron más en aspectos relativos a los conceptos que al manejo de la herramienta como tal. Viéndose altamente favorecida la interacción social para negociar y construir significados de la física.

Y dado que este software no cuenta con ventanas y/o espacios para describir las representaciones matemáticas propias del modelo, los estudiantes recurrieron a la incorporación de las mismas en la diapositiva final, apoyando la construcción del modelo con sus explicaciones.

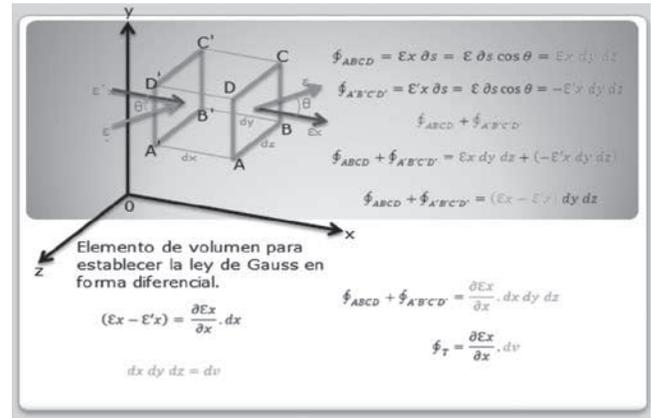


Fig. 3. Modelo computacional construido con *Power Point*

La Fig. 4 representa un modelo computacional construido por otro grupo de estudiantes para recrear la ley de Gauss. Este modelo ha sido construido haciendo uso del programa *AutoCAD*; un *software* que permite la construcción de imágenes en dos o tres dimensiones. Aunque *AutoCAD* fue creado esencialmente para el diseño industrial, es factible su uso en la enseñanza de la física, gracias a las posibilidades que brinda para la construcción de representaciones de conceptos físicos, lo que se facilita por el uso que hace de diversos elementos geométricos y el procesamiento de imágenes vectoriales, que lo convierten en un aliado perfecto para la construcción de modelos relacionados con conceptos como el de campo.

Este grupo conformado por tres estudiantes, aunque en principio no contaba con un gran dominio del *software* elegido para la construcción del modelo, optó por el mismo reconociendo las potencialidades que brinda para la construcción y visualización de modelos computacionales en tres dimensiones.

No obstante, debido a que el *software* no revestía mayor complejidad en su manejo, y al parecer, contaban con un dominio del mismo, los estudiantes lograron concentrarse en aspectos propios de la conceptualización; de tal manera que la gran mayoría del tiempo se dedicaron a la discusión de las ecuaciones que permitían explicar el fenómeno estudiado, dando relevancia a su comprensión y a la coherencia con la representación gráfica del mismo.

Al respecto, es importante resaltar que este modelo fue uno de los que pudo ser mejor visualizado por el grupo por la fácil interacción con el software y las valiosas características para el diseño de imagen.

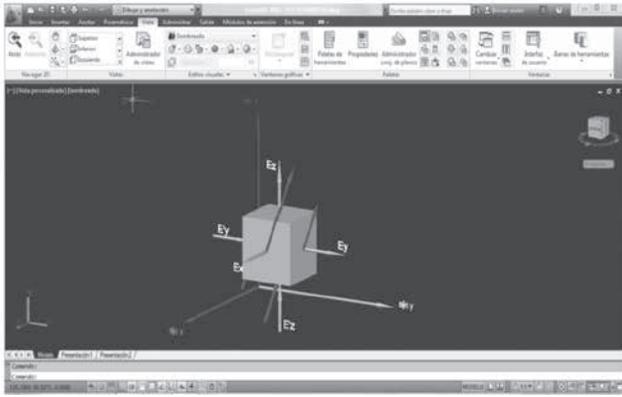


Fig. 4. Modelo computacional construido con AutoCAD

V. CONCLUSIONES

Conocer las dificultades con que se encuentran los estudiantes para crear representaciones sobre los conceptos de campo eléctrico y flujo eléctrico sugiere un planteamiento didáctico diferente para el abordaje de éstos en el aula de clase; siendo la modelación computacional una interesante alternativa, en la medida en que favorece la comprensión de conceptos científicos al ponerlos en juego en el proceso de construcción de modelos.

Encontramos además que la tarea de construir modelos computacionales desde su estructura matemática, permitió a los estudiantes recrear la actividad de modelación científica, contrastando permanentemente la representación gráfica del concepto con el modelo teórico (matemático) que le otorga sentido; así como enfrentándose a la formulación de preguntas pertinentes sobre aspectos esenciales de la ley de Gauss y sus diferentes representaciones 3D.

Este último aspecto merece ser destacado porque de forma tradicional el estudiante aprende solamente a dar respuestas correctas, y no se le enseña a desarrollar la destreza de formular preguntas. Aspecto que fue ampliamente favorecido por la interacción social que genera el trabajo en grupo y las discusiones que se dan a partir de las situaciones problema que dan lugar a la construcción de los modelos.

Los resultados de este estudio dan cuenta de la pertinencia de las actividades de modelación computacional para involucrar a los estudiantes en procesos de modelación científica, dado que los libros de texto poco informan acerca de la necesidad de este proceso fundamental de la ciencia, impidiendo percibir el hacer científico y mostrando los modelos como simples representaciones simplificadas de los fenómenos [34].

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Cooperativa de Colombia por su apoyo y financiación en las diferentes etapas del proyecto de investigación que da lugar a este artículo como uno de los productos.

REFERENCIAS

- [1] C. Furió, and J. Guisasola, "Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico". *Enseñanza de las ciencias*, vol.15, no.2, pp. 259-271, 1997.
- [2] A. Llancaqueo, M.C. Caballero, and M.A. Moreira, "El concepto de campo en el aprendizaje de la física y en la investigación en educación en ciencias", *Revista Electrónica de Enseñanza de las ciencias*, vol.2, no.3, pp.227-253, 2003.
- [3] E. Osorio, L. S. Mejía, J. A. Osorio, G. E. Campillo and R. Covalada, "Análisis de la Enseñanza y el Aprendizaje del electromagnetismo en el Nivel Tecnológico y Universitario", *Revista Entre Ciencia e Ingeniería*, Año 6, no 12, pp24-28, 2012.
- [4] C. Furió, and J. Guisasola, "Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad". *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 16(1), pp. 131-146, 1998.
- [5] C. Furió, and J. Guisasola, "La enseñanza del concepto de "campo eléctrico" basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada". *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 19(2), pp. 319-334, 2001.
- [6] M. Sandoval and C. Mora, "Modelos erróneos sobre la comprensión del campo eléctrico en estudiantes universitarios", *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 3, No. 3, Sept. 2009
- [7] J. Martín, and J. Solbes. "Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de "campo" en física. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 19, pp. 393-403, 2001.
- [8] S. Toulmin. "La comprensión humana: el uso colectivo y la evolución de los conceptos". Madrid: Alianza, 1977.
- [9] M. Bunge. "Teoría y Realidad". Barcelona: Ediciones Ariel, 1972.
- [10] M. Bunge. "La investigación científica". Barcelona: Ariel, 1985.
- [11] R. Giere. "Explaining Science. A cognitive approach". Chicago: University Chicago Press, 1988.
- [12] G. Bachelard. "La formación del espíritu científico". México: Siglo XXI Editores, 1982.
- [13] L. Grosslight, C. Unger, E. Jay, and C.L. Smith. "Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts". *Journal of Research in Science teaching*, 28(9), pp. 799-822, 1991.
- [14] S.W. Gilbert. "Model building and a definition of science". *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 73-79, 1991.
- [15] I. Halloun. "Schematic Modeling for Meaningful learning of Physics". *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 9, pp. 1019-1041, 1996.
- [16] I. Halloun. "Modeling Theory in Science Education". Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [17] I.M. Greca, and M.A. Moreira. "Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización". *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 15 (2), pp. 107-120, 1997.
- [18] M.A. Moreira, I.M. Greca, and M.L.R. Palmero. "Mental models and conceptual models in the teaching and learning of science". *Revista Brasileira de Investigación em Educação em Ciências*, 2(3), pp. 84-96, 2002.
- [19] R. Justi, and J. Gilbert. "History and philosophy of science through models: some challenges in the case of the atom". *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 993-1009, 2000.
- [20] R. Justi, and J. K. Gilbert. "Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers". *International Journal of Science Education*, 24(4), pp. 369-387, 2002.
- [21] R. Justi, "La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos". *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), pp. 173-184, 2006.
- [22] R. N. Giere. How models are used to represent reality. *Philosophy of science*, 71(5), 742-752, 2004.
- [23] R. N. Giere. "An agent-based conception of models and scientific Representation". *Synthese*, 172 (2), pp. 269-281, 2010.
- [24] B. Y. White. "Computer Microworlds and Scientific Inquiry: An alternative approach to Science Education", en *Fraser, B. J. y Tobin, K. G., International Handbook of Science Education*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 295-315, 1998.
- [25] A. Cupani, and M. Pietrocola "A relevancia da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciencias". *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 19 (número especial), pp. 96-120, 2002.

- [26] I.S. Araujo, I.S. Araujo y M. A. Moreira. “Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de Física”. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 4, 3, pp. 5-18, 2004.
- [27] S. López, A. E. Veit, y I.S. Araujo. “La modelación computacional con diagrama AVM en la formación de profesores de física: un aporte al desarrollo de una visión crítica sobre la ciencia y la modelación científica”. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 9, 2, pp. 58-72, 2014.
- [28] J.T. Dillon. “The remedial status of student questioning”. *Journal of Curriculum Studies*, Basingstoke, v. 20, n. 3, pp. 197-210, 1988.
- [29] J. Otero, and A. Graesser. “Elements of a model of question asking. Cognition and Instruction”, *Mahwah*, 19(2), pp. 143-175, 2001.
- [30] B. Rosenshine, C. Meister and S. Chapman. “Teaching students to generate questions: a review of intervention studies”. *Review of Educational Research*, Washington, 66(2), pp. 181-221, 1996.
- [31] M. A. Moreira. “Aprendizaje significativo crítico”. Porto alegre: Instituto de Física, UFRGS, 2005.
- [32] M. Alonso and E. Finn, Física Campos y Ondas, Vol. II. Wilmington, Addison-Wesley Iberoamericana, 1987, pp. 583-585.
- [33] F. Sears, M Zemansky, H. Young and R Freedman, Física Universitaria con Física Moderna, Undécima edición, Vol. II. Mexico: Pearson Educacion, 2005, pp. 844-847.
- [34] G. Brockington and M. Pietrocola. “Serao as regras da transposicao didática aplicaveis aos conceitos de fisica moderna”. *Investigacoes em Ensino de Ciencias*, 10(3), pp. 387-404, 2005.



Ángel Antonio Rojas García, nació en Icononzo Tolima, Colombia, el 21 de diciembre de 1959. Se graduó en Licenciatura de Matemáticas y Física en 1987 en la Facultad de Educación de la Universidad del Tolima en Ibagué. Especialista en Física, Universidad del Tolima en 1997. Magister en Ciencias de la Educación, Universidad Central de Chile en 2010. Candidato a Doctor en Ciencias en Física Educativa en el Instituto Politécnico Nacional de México en 2014. Se ha desempeñado como profesor de Física desde 1996 en la Universidad del Tolima y la Universidad Cooperativa de Colombia y su actual tema de interés e investigación es el diseño e implementación de herramientas computacionales para la enseñanza de la Física.



Gustavo Alberto Atehortua Rico, nació en Ibagué Tolima, Colombia el 1 de Julio de 1972. Ingeniero Industrial Egresado de la Universidad de Ibagué. Especializado en gerencia de proyectos agroindustriales. Desde el año 1998 se desempeñó como docente universitario, coordinador y director de importantes instituciones como Redecomputo, Compusis de Colombia, Master Web e Imfeg. Instructor del SENA y miembro de los grupos de investigación SENAAGROTIC y DINAMOTIC. Se ha distinguido por la implementación de megaproyectos de comunicación y aplicación de diseños bidimensionales y tridimensionales interactivos de gran impacto. Mención de Honor como instructor del Ejército.



Roland Márquez, nació en Ibagué Tolima, Colombia, el 8 de Mayo de 1991. Estudiante de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Ibagué. Desde el año 2012 hace parte del grupo de Investigación GRUCEDI (Grupo Cooperativo en Experiencias Didácticas) en donde se tiene como tema de interés e investigación, el desarrollo de herramientas y estrategias didácticas para la enseñanza de la física.



Dairo Osorio, nació en Ibagué Tolima, Colombia, el 12 de Marzo de 1993. Estudiante de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Ibagué.

Desde el año 2011 hace parte del grupo de Investigación GRUCEDI (Grupo Cooperativo en Experiencias Didácticas) en donde se tiene como tema de interés e investigación, el desarrollo de herramientas y estrategias didácticas para la enseñanza de la física.



Sonia López Ríos, nació en Caramanta, Antioquia, Colombia, el 13 de agosto de 1977; se graduó como Licenciada en Matemáticas y Física en la Universidad de Antioquia en 2001 y Magíster en Educación de la misma Universidad en 2005. Doctora en Enseñanza de las Ciencias de la Universidad de Burgos en 2012. Se ha desempeñado como profesora de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia desde el año 2006 y entre sus campos de interés se encuentra la modelación y simulación computacional en la enseñanza de la física.



Cesar Eduardo Mora Ley, nació en Guadalajara Jalisco, México el 9 de Marzo de 1965. Licenciado en Física, en Enseñanza de las matemáticas, Facultad de ciencias Físico-Matemáticas, de la Universidad de Guadalajara, 1991. Maestría en Ciencias especialidad Física, Departamento de Física del CINVESTAV del IPN México, 1994. Doctor en Ciencias especialidad Física, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, 2001.

Se ha desempeñado como profesor de Matemáticas y Física desde 1994, Profesor Titular, CICATA-Legaria del IPN, desde 2005 hasta la fecha. Subdirector Académico del Cicata-Legaria, Entre sus campos de interés está la Relatividad general y la Mecánica Cuántica y la enseñanza de la Física en general, actualmente es coordinador de Postgrado en Física Educativa del CICATA-Legaria del IPN.