

Movimiento de cargas en campos eléctricos uniformes: estrategia mediada por el uso de una TIC

Serrano, G.^{1,2}; Catalán, L.^{1,2}

¹Univ. Nacional de Cuyo-Fac. de Ciencias Ap. a la Industria-Bdo. De Irigoyen 347

²Instituto Superior del Atuel- Maza 757

Resumen:

En este trabajo se presentan los resultados de la implementación de un simulador de uso libre como estrategia de enseñanza del tema “movimiento de cargas en campos eléctricos uniformes”, en el marco de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud. Se analizan los informes de la experiencia realizada con el uso del simulador por alumnos de Nivel Superior, y los resultados logrados en una instancia de evaluación posterior. Provisoriamente se puede inferir que el uso de un simulador pareciera contribuir al desarrollo de habilidades vinculadas al aprendizaje de los conceptos necesarios para explicar y fundamentar el fenómeno estudiado, tales como: verbalización de relaciones, análisis de parámetros y variables, interpretación de gráficas, decodificación. En las conclusiones se explicitan algunas sugerencias que podrían potenciar el uso de este recurso, en función de los resultados obtenidos.

Introducción:

El aprendizaje de la Física juega un papel esencial en el Profesorado en Matemática, por cuanto, según Chevallard (1997) la actividad matemática es actividad de modelización. La Física hace uso de modelos matemáticos donde las propiedades físicas de los fenómenos son representadas a través de variables. Dentro de los procedimientos que llevan a modelizar un fenómeno físico se identifica y analiza el sistema para detectar cuáles son las condiciones de trabajo y cuáles son los aspectos que pueden influir en su comportamiento (variables).

Dado que las situaciones son las que dan sentido al concepto (Vergnaud, 1990) es esencial el papel del docente como mediador en el proceso de aprendizaje, en tanto ha de proveer las actividades que permitan al estudiante acercarse a los conceptos científicos desde un modelo formal. En tal sentido, el uso de simuladores virtuales para indagar el comportamiento de fenómenos difíciles o imposibles de cuantificar y controlar en el laboratorio, puede brindar “situaciones” y constituirse en una herramienta valiosa para construir significados. Por otro lado en tanto un usuario puede manipular distintos parámetros que controlan un dado experimento virtual los alumnos pueden así acceder en forma inmediata el resultado del experimento, y repetirlo cuantas veces quieran, al tiempo de contrastar sus respuestas provisionales.

Las dificultades para el aprendizaje de la electrostática han sido investigadas por diversos autores. Así por ejemplo, Furió y Guisasola (1998) abordan las dificultades de los alumnos para el aprendizaje de conceptos como **carga y campo eléctrico**. También analizan la enseñanza del concepto de campo eléctrico en el nivel medio (2001). Martín, J y Solbes, J (2001) se preguntan cómo introducir el concepto de campo, y para ello realizan una investigación en el aula, utilizando encuestas y formulando y resolviendo problemas abiertos. Llancaqueo y otros (2003) profundizan el diagnóstico de las dificultades de aprendizaje vinculadas al campo eléctrico. Pocoví, M y otros, 2000; Velazco, S., 1999, señalan también las confusiones de los aprendices análogas a los

problemas epistemológicos emergentes a lo largo del desarrollo histórico del conocimiento u **ontológicas** o como la **asignación de entidades físicas** a entidades simbólicas, o a las relacionadas con los **referenciales elegidos** al elaborar un modelo. No se puede dejar de mencionar las dificultades encontradas en torno a la **resolución de problemas** en este campo específico (Gómez de Souza y Fávero, op. cit.), o aquellas derivadas de la complejidad de los **contenidos y formas de razonamiento** (Viennot y Rainson, 1999).

A nivel áulico, son conocidas por los profesores de nivel superior las dificultades que el aprendizaje del movimiento de cargas en campos eléctricos uniforme presenta para los alumnos al momento de estudiarlo con las actividades tradicionales de lápiz y papel. Esta dificultad es difícil de remediar recurriendo al laboratorio real, y por lo tanto el simulador es una alternativa válida para intentar subsanar los inconvenientes que el aprendizaje del tema ocasiona.

En este trabajo se analiza el uso de un simulador como estrategia didáctica para el aprendizaje del movimiento de cargas en campo eléctricos uniformes. Enmarcado en la Teoría de Vergnaud (1990), se indagan los posibles conceptos y teoremas en acto de los estudiantes al momento de elaborar el informe del simulador, y sus representaciones, así como la prevalencia o no de los mismos al resolver diversas actividades en una evaluación. También se indagan el tipo de razonamiento (argumentativo inferencial, descriptivo, basado en el sentido común, etc.) y el lenguaje empleado (formal, pre formal) por el alumnado en sus trabajos.

Los conceptos clave de la teoría de Vergnaud se desarrollan en torno al propio concepto de **campo conceptual**, al de **esquema, situación, invariante operatorio (teorema-en-acción o concepto-en-acción)**, y su propia concepción de **concepto**.

El **conocimiento** - según Vergnaud (1996)- está organizado en **campos conceptuales**, explicados como un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones del pensamiento, conectados unos a otros y, probablemente, entrelazados durante el proceso de adquisición. Define **concepto** como un triplete de tres conjuntos (1990) $C = (S, IO, R)$ donde **S** es un conjunto de situaciones que dan sentido al concepto; **IO** es un conjunto de invariantes operacionales (objetos, propiedades y relaciones – conceptos y teoremas en acto- sobre las cuales reposa la operacionalidad del concepto, o un conjunto un conjunto de invariantes que pueden ser reconocidos y usados por los sujetos para analizar y dominar las situaciones del primer conjunto; **R** es un conjunto de representaciones simbólicas (lenguaje natural, gráficos y diagramas, sentencias formales, etc.) que pueden ser usadas para indicar y representar esos invariantes y, consecuentemente, representar las situaciones y los procedimientos para lidiar con ellas, Moreira (2002).

Si bien este estudio se realizó en una población pequeña, las conclusiones provisionarias indicarían la potencialidad de estas estrategias virtuales para el desarrollo de competencias y habilidades esenciales para el futuro profesor de Matemática.

Objetivos:

Indagar los posibles conceptos y teoremas en actos de los alumnos para explicar el movimiento de cargas en campos eléctricos uniformes.

Analizar el lenguaje empleado en las explicaciones del alumnado.

Metodología:

La población estuvo integrada por los diez alumnos que cursaron el EC Física II en cuarto año del Profesorado en Matemática en el año 2008.

La estrategia didáctica

En una **primera etapa** se realizó el desarrollo teórico práctico tradicional en el cual se presentó el tema “movimiento de cargas en campos uniformes”, se desarrolló el fundamento teórico del mismo y se realizaron ejercicios tradicionales de aplicación.

En una **segunda etapa**, los alumnos debieron emplear el simulador de uso libre ingresando en http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/mov_campo/mov_campo.html#Actividades

Este trabajo se realizó en horas extra clases, ya sea en la sala de informática de la institución o en domicilio o cyber, debido a la escasa carga horaria del EC en la carrera. Se orientó el uso del simulador con una guía elaborada por la docente. Esta era la tercera experiencia didáctica en la materia que involucraba el uso de simuladores. Los alumnos presentaron el informe de la experiencia enviándolo por correo electrónico al docente para su corrección. En caso de ser necesario los informes fueron reajustados. Esta actividad se enmarca en una propuesta de trabajo áulica que empleó las TIC's como herramienta para la comunicación, mediante el uso de un blog especialmente diseñado para la materia. Los informes se analizaron previamente para indagar sobre los posibles conceptos y teoremas en acto, los cuales figuran en la TABLA 1. También se consideraron los recursos empleados en la presentación del informe y las conclusiones, TABLA 2.

En la **tercera etapa** se evaluó, en una prueba, la apropiación de contenidos tras el uso del simulador.

El estudio de los informes se realizó mediante el "análisis de contenido" de las respuestas y posteriormente el estudio de las asociaciones. Se indagaron los posibles conceptos y teoremas en acto de los estudiantes y sus representaciones, así como la prevalencia o no de los mismos al resolver diversas actividades vinculadas con la temática en una evaluación.

A partir del análisis de las respuestas de los alumnos en la evaluación se elaboran las siguientes categorías de análisis:

a) Según el tipo de argumento empleado:

I: Inferencial (el alumno escribe proposiciones de la forma “Sí... entonces” en el cual elabora un argumento basado en premisas y emitiendo conclusiones).

SC: Sentido común (el alumno elabora argumentaciones basadas en el sentido común u observación directa y emite conclusiones. Las premisas, cuando se explicitan, no tienen fundamento científico).

D: descriptivo (el alumno se limita a describir en lenguaje verbal lo que entiende es la respuesta correcta. No vincula con otros conceptos)

Posteriormente, a fin de hacer un estudio de correlación lineal, esta variable discreta cualitativa se codificó, según la siguiente asignación: I=3; SC=2; D=1

b) Según el lenguaje explicativo empleado:

VF: Verbal formal (elabora explicaciones usando lenguaje verbal cercano al formal de la ciencia)

VPF: Verbal pre-formal (elabora explicaciones usando lenguaje verbal intuitivo no formal)

S: Simbólico (elabora sus explicaciones empleando símbolos y expresiones simbólicas)

Los resultados figuran en la TABLA 3.

Resultados:

TABLA 1: INFORME DEL SIMULADOR

Alumno	Posibles conceptos en acto	Posibles teoremas en acto
1	Fuerza eléctrica Aceleración Campo Campo conservativo Conservación de la energía	La concavidad de la trayectoria depende del signo de la carga. E uniforme entonces a constante Mayor campo mayor atracción El movimiento depende de la atracción o repulsión entre la carga y las placas La trayectoria depende esencialmente de la velocidad inicial y la masa
2	Masa (inercia) Velocidad Campo carga	El arco de la parábola será positivo o negativo según el signo de la carga. Atracción entre cargas de diferente signo. A mayor masa y velocidad la abertura de la parábola es mayor.
3 y 4	Aceleración constante Trayectoria parabólica Velocidad masa	Ley de Coulomb para explicar el movimiento; atracción o repulsión según el signo de la carga y las placas.
5	Trayectoria parabólica Masa carga	Mayor velocidad hace que la trayectoria sea más abierta. atracción y repulsión
6	Trayectoria parabólica Signo de la carga velocidad	Fuerza y signo de la carga atracción y repulsión
7	Signo de la carga Masa Velocidad campo eléctrico.	Signo de la carga y concavidad de la parábola atracción y repulsión
8	Trayectoria Velocidad campo	Trayectoria depende de la velocidad y el campo
9	Trayectoria Velocidad Campo Masa	Trayectoria depende de la velocidad Trayectoria depende de la masa Trayectoria depende del valor del campo
10	Velocidad masa	Trayectoria depende del signo de la carga y el campo

TABLA 2: CONCLUSIONES Y RECURSOS REPRESENTACIONALES EMPLEADOS POR EL ALUMNO EN LA ELABORACIÓN DEL INFORME

Alumno	Conclusiones	Representaciones
1	[...]Por los experimentos realizados se ve que la velocidad y la masa son los aspectos que mas afectan a la trayectoria de la partícula.	Gráficas obtenidas de Internet Gráficas del simulador Lenguaje verbal Lenguaje simbólico
2	El arco de parábola será positivo o negativo según el signo de la carga[...] La amplitud de la trayectoria parabólica de la partícula estará en función de la velocidad inicial y la masa de la misma. [...]	Gráficas del simulador Lenguaje verbal
3	[...]Dicha trayectoria varía si varía la velocidad y el desplazamiento sobre el eje X depende de la velocidad y la masa de la partícula.	Gráficas obtenidas de Internet Lenguaje verbal Lenguaje simbólico
4	[...] que la trayectoria de la partícula varía si varía la velocidad y que el alcance sobre el eje de las abscisas depende de la masa y de la velocidad. Además si la carga de la partícula es positiva	Gráficas obtenidas de Internet Gráficas brindadas por el simulador

	la trayectoria sigue el sentido del campo. Si la carga es negativa la trayectoria es análoga pero se curva hacia abajo.	Lenguaje verbal Lenguaje simbólico
5	[...] Cuando la carga es positiva la trayectoria de los movimientos de las partículas se encuentra por encima del eje x. Cuando la carga es negativa la trayectoria de los movimientos de las partículas se encuentra por debajo del eje X. . A medida que la velocidad es más pequeña la rama de la parábola es, más cerrada, la desviación vertical respecto del eje x tiende a ser máxima y a medida que la velocidad va aumentando las ramas se van abriendo y la desviación vertical respecto del eje x es mínima.	Gráficas obtenidas de Internet Gráficas brindadas por el simulador Lenguaje verbal Lenguaje simbólico
6	Siempre se va a obtener una trayectoria parabólica independientemente de la velocidad. A medida que aumenta la velocidad: La abertura de la rama de la parábola es mayor Disminuye el tiempo en que la carga completa su recorrido dentro del campo.	Gráficas brindadas por el simulador Lenguaje verbal Lenguaje simbólico
7	Siempre se va a obtener siempre una trayectoria parabólica independientemente de la velocidad. A medida que aumenta la velocidad.[...] En general, se puede observar claramente que cuando la carga es positiva su trayectoria está dirigida en la misma dirección que las líneas de fuerza, mientras que cuando la carga es negativa su trayectoria está dirigida es sentido opuesto a las líneas de campo o de fuerzas originadas por el campo eléctrico uniforme.	Gráficas brindadas por el simulador Lenguaje verbal Lenguaje simbólico
8	[...] entonces concluimos que la trayectoria no depende solo de la velocidad sino también del campo. Aunque el efecto es mayor cuando cambiamos la velocidad.	Fotos de pantallas proporcionadas por el simulador Lenguaje verbal
9	Cuando la partícula choca con las placas del condensador. La posición x de impacto se calcula por medio de la siguiente expresión: $x = v_0 \sqrt{\frac{md}{qE}}$ Siendo el campo eléctrico y el valor de la carga constantes, podemos observar que dicha expresión es directamente proporcional a la masa, es decir, mayor masa mayor recorrido realiza sobre el eje "X" teniendo fija una velocidad establecida.	Gráficas brindadas por el simulador Lenguaje verbal Lenguaje simbólico
10	La trayectoria de la partícula en un campo uniforme se ve afectada por varios aspectos, [...] el valor del campo eléctrico, la velocidad de la partícula, el signo de la carga y la masa. Por los experimentos realizados se ve que la velocidad y la masa son los aspectos que más afectan a la trayectoria de la partícula.	Gráficas brindadas por el simulador Lenguaje verbal Lenguaje simbólico

TABLA 3: ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN

Alumno	Tipo de argumento			Lenguaje explicativo		
	I	SC	D	VF	VPF	S
1.		X	X		X	
2.	X		X	X		
3.			X		X	
4.	X		X	X		X
5.		X		X		
6.	X			X		
7.	X	X		X		
8.		X			X	
9.	X		X		X	X
10.		X	X	X		

TABLA 4: TABLA DE CONTINGENCIA: TIPO DE ARGUMENTO DOMINANTE VS. PUNTUACIÓN OBTENIDA EN LA EVALUACIÓN

Alumno	Tipo de argumento cod.	Puntuación en la eval.
	I=3, SC=2, D=1	
1.	2	0.8
2.	3	1.6
3.	1	0.7
4.	3	0.9
5.	2	0.2
6.	3	1.6
7.	3	1
8.	2	0
9.	3	1
10.	2	0.7

Conclusiones:

La mayoría de los alumnos sustentan sus justificaciones en el informe desde la atracción o repulsión entre cargas; así pareciera que la ley de fuerza según los signos de las cargas es un teorema en acto esencial al momento de elaborar argumentaciones. También mayoritariamente la justificación de la concavidad de la trayectoria es atribuida al signo de la carga. Estos dos posibles teoremas se mantienen en la instancia de evaluación.

En cuanto a la explicación de la gráfica de la trayectoria, en general citan la dependencia de diversos parámetros: velocidad, masa, campo, signo de la carga. Sin embargo, al emitir conclusiones, señalan que los factores que más afectan la trayectoria son la velocidad y la masa; un alumno señala la dependencia de los valores de campo. Así podemos inferir que los posibles conceptos en acto para el grupo son: velocidad, masa, signo de la carga. Otro parámetro relevante para la descripción, como la magnitud de la carga, no es citada por el alumnado.

Si bien en el informe la mayoría de los alumnos señalan que la masa y la velocidad son los factores que más afectan la trayectoria, en la evaluación:

Sólo el 50% analiza correctamente la dependencia de la trayectoria con la velocidad.

Sólo el 40% grafica correctamente trayectoria al variar la masa.

En general las conclusiones que realizan son meramente descriptivas por cuanto no se evidencia una relación entre el comportamiento de un parámetro, la trayectoria y el fundamento teórico de la causa de la misma. Solamente dos alumnos analizan situaciones límites no solicitadas expresamente.

El lenguaje simbólico es usado sólo por dos alumnos como complemento de las relaciones verbales. Para expresar éstas el lenguaje es en la mayoría de los alumnos cercano al lenguaje formal específico de la disciplina y de la matemática, aunque en varios alumnos se encuentran explicaciones en lenguaje pre-formal, evidenciado mediante expresiones de tipo coloquial o faltas de rigurosidad científica.

En las evaluaciones la mayoría de los alumnos pueden dibujar correctamente la concavidad del arco de parábola que representa la trayectoria, basándose en el signo de la carga. Las mayores dificultades se encuentran cuando tienen que manejar más de un parámetro simultáneamente: masa y campo, o sólo uno, como en el caso de la masa o la velocidad. En estos últimos casos recurren a explicaciones intuitivas de tipo lineal, justificando que la carga llega “más lejos por tener mayor masa”. También se manifiesta la dificultad de no diferenciar en la composición de movimientos, las condiciones

iniciales del problema: “el alcance horizontal es menor porque la velocidad es dos veces mayor”.

Para interpretar las respuestas de los alumnos en la evaluación se realizó un análisis de datos transformando las variables cualitativas de la TABLA 3 en categóricas. Al realizar un análisis de correlación, y dado que algunos alumnos presentaban dos tipos de respuestas, se consideró tanto la situación en que las respuestas correspondían al máximo valor de la variable (I; VF), como cuando correspondían al mínimo (D; S). En ambas situaciones existe un grado de asociación entre las variables, dado que cuanto más cercano al lenguaje formal es el lenguaje empleado, más compleja es la descripción de las observaciones. Los argumentos de tipo descriptivo son bastante generales, y usualmente aparecen acompañando a los otros dos tipos de argumentos, excepto en un alumno. Existe una asociación importante entre el tipo de argumento dominante en las explicaciones y la nota lograda por el alumno: cuánto más cercano al lenguaje formal es el empleado por el alumno, mayor es la puntuación lograda-.

En síntesis: los conceptos en acto empleados por los alumnos para interpretar este movimiento son: carga, masa, velocidad y campo; mientras que los posibles teoremas en acto son: dependencia de la trayectoria con el signo de la carga, dependencia de la trayectoria con la velocidad y con la masa; ley de atracción o repulsión entre cargas.

El uso del simulador pareciera haber favorecido en algunos alumnos la posibilidad de analizar trayectorias al variar parámetros, enriqueciendo sus modos de expresar relaciones. Esta situación se manifiesta en los informes, en los que hacen un análisis del movimiento cambiando de a uno los parámetros. No obstante al momento de la evaluación este análisis pormenorizado es dejado en general de lado y reemplazado por el sentido común. También los procesos de verbalización y decodificación (entre ellos la interpretación de gráficas) parecen haberse desarrollado en algunos alumnos, según lo manifestaron en las evaluaciones: estos alumnos pueden interpretar correctamente gráficas, en mayor o menor medida, dependiendo de la variable dominante (en general no hay dificultades con el signo de la carga, pero sí la hay con los cambios de masa o simultáneos de velocidad y campo).

Podemos concluir así que la estrategia de enseñanza basada en el uso del simulador parece contribuir al aprendizaje del tema en cuanto a la posibilidad de manejar múltiples parámetros. Sin embargo, se hace necesario que el alumno adquiera destrezas inherentes al uso de estas herramientas virtuales para potenciar sus beneficios así como desarrollar habilidades de registro de datos y análisis.

Bibliografía:

- Cabrero, J. (Edit.) (2002) Salinas, J.; Duarte, A. y Domingo Segovia, J. Nuevas Tecnologías aplicadas a la educación. Síntesis Educación. España.
- Furió, C., Guisasola, J. (1997). Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico Enseñanza de las Ciencias, 15 (2), pp.259-271
- Furió, C., Guisasola, J. (1998). Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. Enseñanza de las Ciencias, 16 (1), pp. 131-146.
- Furió, C., Guisasola, J. (2001). La enseñanza del concepto de campo eléctrico basado en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. Enseñanza de las Ciencias, 19 (2), pp. 319-334.
- Greca, I., Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. Enseñanza de las Ciencias, 6 (2) , pp. 289-303.

- Guisásola, A. J.; Almudi, J.M. Y Zubimendi, J.L..(2003). Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias* 21(1) pp79-94
- Guisásola, A. J.; Salinas, J. Almudi, J. Velazco, S. (2003) Análisis de los procesos de aplicación de las Leyes de Gauss y Ampère por estudiantes universitarios de España y Argentina. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol 25,nº2 .pp195-206
- Kofman, H. (2004) Integración de las funciones constructivistas y comunicativas de las NTICs en la enseñanza de la Física universitaria. *Revista de Enseñanza de la Física*. Vol 17. Nº1. pp 51 – 62
- Krappas ,S. Alvez, .(1998) Lei de Gauss e os modelos mentais IV SIEF (Simposium de Investigadores en Educación en Física).Argentina, pp.211
- Lavagna, Baade, N. Prodanof. (1998). Densidad de carga eléctrica ¿por qué es el origen de cálculos incorrectos? IV SIEF (Simposium de Investigadores en Educación en Física).Argentina, pp. 221
- LlanCAqueo Henríquez, A y Caballero Sahelices. (2003). El concepto de campo en el aprendizaje de la física. Un estudio exploratorio a la luz de la Teoría de Vergnaud. *Proy. De Investigación. PDIEC Universidad de Burgos*
- Lucero, I.; Meza, S.; Sampallo, G.; Aguirre, M. y Concari, S. (2000) Laboratorio real y laboratorio virtual. *Memorias SIEF V. Santa Fe.*
- Martín, J., Solbes, J. (2001). Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en física. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (3), pp. 393-403.*Mathématiques*10 (23): 133-170.
- Moreira, M. A.(2002). A Teoría dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (1).pp. 1-24.
- Pocoví, M. Bárcena, H. Hoyos, E. (2000). Campo eléctrico y líneas de fuerza ¿ayuda un currículo históricamente rico a la comprensión de estos conceptos? V SIEF (Simposio de Investigadores en Educación en Física) .Argentina, pp.51
- Utges, G., Fernandez, P. y Jardon, A. (2004) Incorporando simulaciones en las clases de física. Un estudio de caso enfocado en la perspectiva del profesor. *Mem. SIEF VII. La Pampa*. pp: 136-146.
- Velazco, S., Salinas, J. (1998). Modelos para el campo eléctrico en estudiantes universitarios a posteriori de la instrucción. IV SIEF (Simposium de Investigadores en Educación en Física).Argentina, pp. 341
- Velazco, S., Salinas, J. (1999). Dificultades de estudiantes universitarios en la comprensión de la noción de potencial eléctrico. Ref XI (Reunión en Enseñanza de la Física). Argentina pp. 240
- Velazco, S., Salinas, J. (1998). Modelos para el campo eléctrico en estudiantes universitarios a posteriori de la instrucción. IV SIEF pp. 341
- Vergnaud (1990) La théorie des champs conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques* 10 2-3, pp. 133-170.