

## **USO DE LAS TIC EN EL MOVIMIENTO DE CARGAS EN CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS UNIFORMES. UN ESTUDIO DE CASO**

*Use of ICT in the moving of charges in uniform electric and magnetic fields.  
A case study*

**Graciela María Serrano**

gracielamariaserrano@gmail.com  
*Universidad Nacional de Cuyo (Argentina)*

**Lidia Catalán**

ferraros12@gmail.com  
*Universidad Nacional de Cuyo (Argentina)*

Recibido: 23/11/2013

Aceptado: 13/02/2014

### **Resumen**

En este trabajo, parte de uno más amplio, se pretende indagar desde un enfoque cognitivo, la construcción de conocimiento de alumnos de Educación Superior, sobre el movimiento de cargas en campos uniformes, tomando como referente teórico la Teoría de Vergnaud. Se seleccionó una muestra pequeña para explorar mediante un estudio de caso, los posibles invariantes operatorios evidenciados por el alumnado al resolver situaciones que involucran el uso de TIC. Pudimos acercarnos a la forma en que los alumnos aprenden un tema específico de electromagnetismo, identificando y caracterizando los posibles invariantes operatorios y representaciones construidas por los mismos lo que permitiría, en futuras instancias de enseñanza del tema, seleccionar situaciones que favorezcan la construcción de los significados científicos. El recurso de las TIC se mostró como valioso al momento de propiciar la emisión de explicaciones por parte de los estudiantes en tareas de aprendizaje de tipo

colaborativo, mientras que el empleo de diferentes lenguajes para comunicar explicaciones, requiere de estrategias de enseñanza complementarias.

### **Abstract**

In this work, part of a larger, it is pretended to investigate, from a cognitive focus, the construction of the knowledge from students in higher education, about the motion of charges in uniform fields, taking as a theoretical reference for the investigation, the Theory from Vergnaud. A small sample was selected so as to explore through a case study, potential operational invariants evidenced by students to resolve situations involving the use of ICT. We were able to get closer to the way students learn a specific topic of electromagnetism, identifying and characterizing potential operational invariants and representations built by themselves which would allow, in future instances of teaching the subject, select situations that favor the construction of meanings scientists. The application of ICT was found to be valuable when promoting the issuance of explanations by students in collaborative learning tasks type, while the use of different languages to communicate explanations requires additional teaching strategies.

**Palabras Claves:** Electromagnetismo, conceptos y teoremas en acto, situaciones, simuladores

**Key Words:** Electromagnetism, concepts and theorems in action, situations, simulators

### **Introducción**

Cuando el docente se ocupa de indagar el aprendizaje de las Ciencias en el Nivel Superior, y en particular de la Física, encuentra que diferentes autores han señalado la existencia de dificultades por parte de los estudiantes para aprender conceptos físicos básicos (Moreira, 2003; Llancaqueo, Caballero & Moreira, 2003; Cudmani, Pessa & Salinas, 2000). La enseñanza y el aprendizaje del movimiento cargas en campos eléctricos y magnéticos presenta obstáculos, los cuales se evidencian, entre otros aspectos por: dificultad de los alumnos para modelizar las situaciones relacionadas al tema, escasa capacidad de relacionar los fenómenos estudiados en dos campos conceptuales diferentes (la mecánica y el electromagnetismo)

mediante la aplicación de leyes generales de la Física, y la pobreza argumentativa al momento de dar cuenta de los razonamientos. Por otra parte, en general los alumnos adquieren habilidades mecánicas en la resolución de ejercicios de movimiento de proyectiles (movimiento de cuerpos en campos gravitatorios) al estudiar Mecánica, pero no son capaces de relacionar de manera autónoma estas destrezas adquiridas con el estudio de movimiento de cargas en campos uniformes, al estudiar Electromagnetismo.

Entre las dificultades relativas al movimiento, se resaltan, por un lado, las ideas previas de los alumnos muchas veces incorrectas y surgidas normalmente de las experiencias cotidianas, que son muy persistentes y difíciles de modificar aún con instrucción educativa (Carrascosa Alís, 2005; Santos Benito, 2003; Periago & Bohigas, 2005). Por otro lado, el aprendizaje de fenómenos vinculados al movimiento en campos, involucra las dificultades específicas de la comprensión del concepto de campo -como conocimientos e interpretaciones del álgebra vectorial, conocimiento de funciones, representaciones gráficas y simbólicas- (Alzugaray de la Iglesia, 2009; Llancaqueo et al., 2003).

Sin embargo, es escasa la investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje del movimiento de cargas en campos electromagnéticos uniformes, si bien numerosas propuestas de enseñanza en la actualidad en todo el mundo y en particular en nuestro país, están pregonando las virtudes del empleo de TIC. (Martinho, 2009; Hraste et al., 2008; García Barneto, 2005, 2006; Maggio, 2000; Kofman, H. 2000; Giacosa, 2008; Giuliano, 2008). No obstante, se considera que la incorporación de las TIC en las aulas ha de partir de la determinación de los docentes, pues en caso contrario no cumpliría su rol como facilitador del acceso o mediador del conocimiento. Así, no se pueden ignorar estas nuevas tecnologías, si lo que se pretende, como docentes, es que los alumnos logren apropiarse de conceptos científicos considerados clave de la Física, en un esfuerzo por incorporar a sus estructuras cognitivas los nuevos conceptos, o de reorganizar los ya existentes, siempre buscando comprender fenómenos físicos y los principios científicos que los explican, y con ello el desarrollo cognitivo de los ciudadanos. De allí la importancia de poder monitorear las posibles transformaciones en los significados construidos por los alumnos y sus representaciones, en distintos momentos del proceso de aprendizaje, en los cuales se han incorporado como recursos las TIC.

Por otra parte, contar con un marco teórico que sostenga esta investigación como la Teoría de los Campos Conceptuales de Gerard Vergnaud (1990) ofrece la posibilidad de un análisis e interpretación de tipo cognitivo. Entre los primeros trabajos que se encuentran tomando como referente teórico la Teoría de Vergnaud está el de Moreira, M. (2002), quien hace una presentación y defensa de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud como referente para el estudio de la conceptualización en Física. Llancaqueo et al. (2003), también trabajando con alumnos de nivel superior, exploran los vínculos entre la estructura cognitiva de los estudiantes y la estructura del concepto científico, y describen niveles de conceptualización del concepto; los resultados confirman potencialidades de la teoría para abordar estos vínculos, que se manifiestan en el uso de representaciones simbólicas y una explicitación parcial de significados, que dan forma a invariantes operatorios que los estudiantes usan para enfrentar situaciones y problemas que demandan una conceptualización científica aceptable. En la misma línea de investigación, y vinculados a la enseñanza en el Nivel Superior, se encuentran los trabajos de Covalada, Moreira & Caballero (2005) realizado con alumnos universitarios y con conceptos de movimiento y termodinámica; Escudero, González & Jaime (2005) también trabajan desde este referente teórico en el campo conceptual de la Mecánica y elaboran categorías para intentar explicar las representaciones mentales de los alumnos; Catalán, Caballero & Moreira (2010) indagan las dificultades de conceptualización en el campo conceptual del electromagnetismo tomando como referente teórico la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud. También se ha estudiado la conceptualización por parte de alumnos de secundaria, usando la Teoría de Vergnaud, en temas de física básica, (Stipcich, Moreira & Caballero, 2007; Escudero, Moreira y Caballero, 2003), utilizando diversas metodologías de investigación, como por ejemplo el análisis conversacional. Cabe mencionar el trabajo de Lombardi, Caballero y Moreira (2010) que centra su análisis en las representaciones pictóricas, mientras que la investigación de Alzugaray de la Iglesia (2009) utiliza como instrumentos para indagar la conceptualización de los alumnos en resolución de problemas en Física Eléctrica, enunciados cuali-cuantitativos, con o sin datos numéricos. Por tanto, la Teoría de Vergnaud se presenta como una teoría cognitiva, que permitiría indagar sobre la conceptualización de los alumnos del Nivel Superior en un campo conceptual crucial y poco explorado, cual es el del movimiento de cargas en campos electromagnéticos uniformes.

## Marco Teórico

Entre las TIC (Tecnologías de la Información y la comunicación) utilizables en el aula, se encuentran los applets, los cuales son programas computacionales en general de uso libre y de acceso en la web, que, aplicados a la enseñanza de la Física simulan el comportamiento de un fenómeno o proceso físico mediante la modelización (Bohigas et al., 2003). Estos applets se constituyen en el centro de los que se llamarán en este trabajo “simuladores” o “laboratorios virtuales”, pues, ya sea que suministren datos numéricos o información de tipo pictórica (gráficos de funciones, esquemas animados, esquemas rígidos) conforman los “resultados” de un experimento que se realiza de manera virtual, y en el cual el usuario puede manipular distintos parámetros. La aplicación de las TIC en la enseñanza de la Física se corresponden, estrechamente, con el uso de estas herramientas para simular fenómenos de difícil (o imposible) realización en el laboratorio, o para simular aquéllos que, si bien pueden realizarse en el laboratorio, el control de múltiples variables dificulta la obtención de conclusiones por parte del estudiante. El uso de simuladores virtuales (concebidos como ejemplos de TIC) 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 en Electromagnetismo.

100

La Teoría de los campos conceptuales de Gerard Vergnaud (1990) adoptada como marco conceptual en este trabajo, es una teoría psicológica que parte de la premisa que el conocimiento está organizado en grandes campos conceptuales; por ejemplo en la Física está el del Electromagnetismo. El objetivo de la teoría es propiciar una estructura para la investigación sobre actividades cognitivas complejas, en especial el aprendizaje del conocimiento científico (Llancaqueo et al., 2003). En el marco de la Teoría de los campos conceptuales, las situaciones conforman los campos conceptuales, y pueden pensarse como una combinación de tareas y problemas; mientras que el conocimiento adquiere sentido como resultado de la interacción entre la situación presentada y los sistemas de representaciones de que se disponga. El esquema mental del alumno se reconstruye a partir de la interacción entre la situación y la representación que hace de la misma (condicionada a sus conocimientos, capacidad de vinculación con conocimientos anteriores, habilidades representación, etc.). Diferentes elementos permiten organizar este esquema mental: los objetivos y anticipaciones, las reglas de acción, los invariantes operatorios y las posibilidades de inferencias. Los invariantes operatorios (IO) son

fuertemente implícitos y están conformados por los conceptos en acto (objetos, atributos, relaciones, considerados como fundamentales o muy relevantes al momento de dar explicaciones) y los teoremas en acto (propiedades consideradas como verdaderas sobre un fenómeno o hecho). Un concepto puede definirse como un triplete formado por las situaciones que le dan sentido, los invariantes operatorios que permiten la operacionalidad del esquema del alumno, y las representaciones o formas de lenguaje que permiten representar simbólicamente el concepto:  $C = \{S, IO, R\}$ . El concepto va construyéndose conforme el individuo le asigna significados, los cuales deberán hacerse explícitos mediante las representaciones; esta asignación de significados se logra mediante la realización de tareas.

## **Metodología**

La investigación de tipo cualitativa, se limita a un grupo de seis estudiantes seleccionado intencionalmente de una población que cursara los contenidos de Electromagnetismo en dos instituciones de Nivel Superior universitario y no universitario, Facultad (grupo F) y Profesorado (grupo P); los resultados y las conclusiones sólo serán aplicables a esta muestra. Se intentó una aproximación a las asignaciones de significados realizadas por este grupo de estudiantes a un concepto particular en el marco de un tema específico de su carrera profesional.

Los resultados y conclusiones se obtuvieron de interpretar siete informes escritos presentados por los estudiantes de ambas instituciones, en forma grupal e individual, en distintos momentos del cursado de la asignatura. Los informes consistieron en la resolución de diversas situaciones elaboradas especialmente para indagar los posibles IO (Invariantes operatorios) de los alumnos.

El diseño de las situaciones presentadas al grupo fue realizado por la profesora responsable del dictado de la materia en ambos grupos (P y F). También esta profesora se ocupó de la administración de las tareas, el seguimiento y la evaluación de las mismas. Estas situaciones fueron monitoreadas, en el grupo de la Facultad (F), por los demás docentes que conforman el equipo de cátedra, en el marco del desarrollo de la asignatura en la cual se presentaron.

En el grupo del Profesorado (P) la docente no contaba con otros miembros en la cátedra por lo que realizó el monitoreo en forma personal.

## **Análisis y discusión de Resultados**

No obstante ser una investigación que no admite (ni pretende) generalizar resultados, las derivaciones de la misma permiten reconocer aspectos de las situaciones presentadas a los alumnos que facilitan la construcción de significados, mediante el uso de variadas representaciones. Entre las representaciones a las que recurrieron los estudiantes durante las diferentes situaciones se encuentran las representaciones pictóricas (esquemas, gráficos cartesianos, tablas, imágenes o pantallas), las representaciones lingüísticas o verbales (afirmaciones de conocimiento, predicciones de comportamientos) y las representaciones algebraicas o simbólicas (mediante fórmulas o expresiones de relaciones empleando símbolos matemáticos). En líneas generales, se puede afirmar:

- El grupo mostró inicialmente disponibilidad de conceptos del campo conceptual de la Matemática (vector, función escalar), de la Mecánica (movimiento, aceleración) y algunas relaciones entre ellos, las cuales fueron representadas especialmente en lenguaje verbal de manera incompleta, y en lenguaje algebraico simbólico, escasamente, ante ejercicios, preguntas y problemas en los cuales los estudiantes debían identificar magnitudes escalares y vectoriales, realizar operaciones algebraicas entre vectores en forma analítica, caracterizar el movimiento de un cuerpo a partir de su trayectoria, hallar por tabla y graficar un campo vectorial dado mediante fórmula, y resolver un ejercicio de movimiento de proyectiles en campo gravitacional uniforme.
- Al inicio del curso, en la actividad de diagnóstico inicial, en la tarea en la que se les pedía construir una tabla de función y graficar campos vectoriales dados por fórmula, los alumnos mostraron disponer de los IOM (Invariantes operatorios matemáticos) mediante relaciones para hallar campos vectoriales por tabla; sin embargo no disponían de relaciones del campo conceptual de la Matemática para representar gráficamente estos campos vectoriales en el plano cartesiano: sus representaciones gráficas

consistieron en vectores con origen compartido en el origen de coordenadas. Esta dificultad para representar por gráfica un campo vectorial puede constituirse en un obstáculo para reconocer el movimiento de cargas en campos electromagnéticos, dado que esos campos vectoriales son propiedades del espacio y no están localizados en un único punto. Esta debilidad observada en las respuestas de los estudiantes del grupo, relativas a la imposibilidad de relacionar el concepto algebraico de campo (y su representación por fórmula) con su representación gráfica, puede vincularse con las conclusiones a las que arribaron Llancaqueo et al. (2003) relativas a la falta (o escasa) disponibilidad de relaciones (algebraicas, pictóricas y analíticas) entre conceptos, necesarias para poder operar con los mismos en una situación particular (por ejemplo: graficación del campo vectorial, cálculo del trabajo realizado por un campo de fuerzas).

- En otra tarea del diagnóstico inicial, relativa al movimiento de proyectiles, en la que los estudiantes debían identificar la trayectoria, jerarquizar por orden de importancia los factores de los cuales depende el movimiento del proyectil, dibujar la fuerza en algunos puntos de la trayectoria y analizar el modo en que diferentes factores afectan a la trayectoria, algunos alumnos, particularmente del grupo P (Profesorado), mostraron disponer inicialmente de manera parcial del conocimiento de superposición de movimientos, evidenciado en la adecuada representación de la trayectoria de un proyectil al modificar la velocidad de lanzamiento, aunque no lo pudieran representar simbólicamente mediante relaciones algebraicas. Los alumnos del grupo F (Facultad) mostraron dificultades para identificar correctamente la trayectoria de proyectiles en tiro oblicuo. Este conocimiento de “movimiento de proyectiles” se considera parcialmente logrado por parte de algunos estudiantes en la medida en que éstos no pudieron cuantificar el efecto de la modificación de la velocidad de lanzamiento. Este es un resultado que ilustra la falta de disponibilidad, mediante representaciones algebraicas, de las relaciones entre parámetros que afectan el movimiento del proyectil, y puede relacionarse con el comunicado por Llancaqueo et al. (2003), el cual informa que los estudiantes logran un mejor desempeño en cuestiones que requieran el uso de representaciones pictóricas (tipo imagen de trayectoria) por sobre el uso de representaciones analíticas de tipo proposicional (como las relaciones algebraicas entre variables). Conocer el movimiento de proyectiles en campo gravitacional uniforme es valioso dado que, si

realmente los alumnos lograran apropiarse de los significados y modelos aprendidos (en el campo conceptual de la Mecánica), tendrían mayor disponibilidad de conceptos y relaciones para justificar trayectorias en presencia de otros campos, no necesariamente verticales hacia abajo, como son los campos que estudiarán en Electromagnetismo.

- En las actividades mediadas por TIC correspondientes al estudio del movimiento de cargas en distintos campos eléctricos uniformes, los alumnos presentaron respuestas con diferentes niveles de argumentación en las cuales emplearon, esencialmente, la representación lingüística de manera incompleta. Algunos estudiantes mostraron una progresiva apropiación de los conceptos de campo y carga, mientras que otros respondieron recurriendo esencialmente a significados y relaciones del campo conceptual de la Mecánica (Por ejemplo, ideas de fuerza, aceleración, movimiento, y relaciones como: “a mayor velocidad mayor alcance” o “a mayor fuerza menor tiempo de recorrido”).
- En el informe de la actividad de laboratorio virtual mediado por TIC, entre los alumnos del grupo F (Ingeniería) dominó la explicación basada en la atracción o repulsión de cargas según su signo, y los estudiantes del grupo P (Profesorado) presentaron mayor cantidad de respuestas empleando el concepto de campo eléctrico. Algunos estudiantes mostraron que aún no habían construido completamente significados inherentes al movimiento de proyectiles. En estas tareas hubo prevalencia de explicaciones de tipo cualitativas, sin establecimiento de relaciones cuantificables, al momento de predecir comportamientos al modificar factores responsables del movimiento de la carga en el campo.
- De la primera etapa correspondiente a las situaciones relacionadas al movimiento de cargas en campos eléctricos, los posibles invariantes operatorios de este grupo son significados del campo conceptual de la Mecánica (trayectoria, fuerza, velocidad) y del campo conceptual del Electromagnetismo (carga y fuerza). El concepto de campo y las relaciones entre campo y fuerza para dar cuenta de la interacción eléctrica, es usado por la mitad del alumnado en las actividades post laboratorio. Este resultado es consistente con el diagnóstico presentado por Sandoval y Mora (2009) al referirse a las dificultades que muestran los estudiantes universitarios al

cursar Electromagnetismo, no obstante haber tenido buenos resultados en el curso anterior de Mecánica; dificultades que se corresponden con la necesidad de comprender las interacciones mediadas por campos y que van más allá de sus experiencias en Mecánica.

- Todos los estudiantes realizan representaciones pictóricas adecuadas de campo eléctrico uniforme mediante líneas de campo, y de velocidad de carga eléctrica en movimiento y diagrama de cuerpo libre, mediante flechas representativas de vectores. Nuevamente, como se indicó con anterioridad recurriendo a las conclusiones de Llancaqueo et al. (2003), se muestra el dominio de las representaciones icónicas por sobre las verbales y simbólicas en todos los estudiantes, antes y después de actividades especialmente diseñadas para fomentar la verbalización de argumentos.
- En la primera etapa de la investigación correspondiente al movimiento de cargas en campo electrostático, la “ley de cargas” (cargas de igual signo se repelen y cargas de signos distintos se atraen) junto con la “proporcionalidad” (por ejemplo “si la velocidad aumenta...el alcance también aumenta...”) son utilizadas por muchos alumnos para dar sus argumentos antes y después del uso de TIC relativos al movimiento en campos eléctricos, constituyéndose en un posible teorema en acto para estos estudiantes. En particular, los alumnos de grupo F recurren asiduamente en sus explicaciones a la “ley de cargas”, mientras que mayoritariamente los estudiantes del grupo P hicieron referencia en todas sus explicaciones a la relación carga-campo-fuerza (por ejemplo, “... al aumentar E aumenta la fuerza eléctrica sobre la carga...”). En ambos grupos se recurre a la “proporcionalidad” pero en mayor medida en los alumnos del grupo F.
- En esta primera etapa, en todo el grupo prevalecieron las explicaciones de tipo cualitativas al momento de predecir comportamientos al modificar factores, sin establecimiento de relaciones cuantificables; en estas explicaciones las respuestas “si es más grande...”, “si aumenta...”, no sólo son cualitativas sino que no se cotejan con el uso de la herramienta virtual para inducir comportamientos cuantificables, dando indicios del antes citado y posible TA “proporcionalidad directa”.

- En escasas ocasiones los estudiantes recurrieron a relaciones matemáticas, mediante representaciones algebraicas de operaciones y propiedades; tal es el caso de las relaciones “ $F = qE$ ;  $F = ma$ ” para dar cuenta de leyes físicas. En general los alumnos no validaron sus afirmaciones recurriendo a relaciones algebraicas cuantificables entre los parámetros: se limitaron a mostrar como garantías de sus argumentaciones las pantallas y a dar respuestas verbales que describieron el comportamiento observado de manera poco precisa.
- En la última fase de la primera etapa, en la situación de post laboratorio de movimiento de cargas puntuales en campos eléctricos, menos de la mitad de los estudiantes del grupo recurrió a representaciones simbólicas algebraicas para sus explicaciones de las relaciones entre variables y sólo un alumno realizó argumentaciones lingüísticas mostrando relaciones cuantitativas. Estas dificultades de explicitación de relaciones mediante el uso de representaciones simbólicas, utilizando un lenguaje algebraico adecuado, pueden interpretarse como sugiere Llancaqueo et al (2003) desde la Teoría de Vergnaud, en el sentido que involucran un mayor nivel de conceptualización del que parecen no disponer, inicialmente, los estudiantes. Estos mismos estudiantes en la fase anterior (laboratorio virtual de campo eléctrico) tampoco recurrieron al lenguaje simbólico algebraico para expresar las relaciones entre las variables.
- Los alumnos del grupo en estudio muestran disponer de las relaciones entre los conceptos del campo conceptual de la Mecánica: trayectoria, velocidad y fuerza (con generalizaciones correspondientes a la fuerza eléctrica), suficientes para interpretar comportamientos sencillos a partir de la trayectoria de una carga en una región del espacio en el cual existe un campo eléctrico uniforme; estas relaciones vinculan signo de la carga y sentido de la fuerza.
- También todos los estudiantes pueden realizar representaciones matemáticas del tipo icónicas, al dibujar las líneas de campo, pero esto sólo lo pueden lograr de manera completa cuando se incorpora la información de las fuentes del campo eléctrico (placas planas paralelas y sus cargas).

- Cuando la tarea corresponde a la representación gráfica (de tipo pictórica) del campo, pero no se da la información de las placas –fuentes de campo eléctrico- sino la trayectoria de una carga, sólo dos alumnos pueden responder correctamente, mientras que al dibujar el campo eléctrico entre dos placas planas cargadas, todos los alumnos lo hicieron correctamente. Esta respuesta mostraría una superioridad en los invariantes operatorios de los que parecen disponer estos dos estudiantes, y en particular, la disponibilidad de relaciones entre campo-fuerza-trayectoria y sus transformaciones, necesarias para poder inferir características del campo manifestadas a través de las líneas de campo. El resto de los estudiantes tiene una baja disponibilidad conceptual en términos de relaciones entre conceptos para hacer frente al problema, en particular algunos estudiantes no reconocieron en las diferentes trayectorias un campo diferente: dibujaron todos los campos idénticos, como lo hicieron al dar las placas. Estos resultados son concordantes con los analizados en las conclusiones del trabajo de Llancaqueo et al. (2003) relativas a las dificultades de los estudiantes al enfrentar la resolución de problemas, en el sentido que un bajo nivel de conceptualización se caracteriza por bajos niveles de explicitación de invariantes y sus operaciones.
- En algunos alumnos del grupo F (alumnos de ingeniería) las representaciones empleadas al finalizar la primera etapa correspondiente al movimiento en campo eléctrico, darían cuenta que la conceptualización del tema se encuentra en un nivel incipiente, lo cual se muestra en respuestas contradictorias entre distintos ítems correspondientes a la resolución de problemas más complejos: deducir magnitud de campo o decidir la dirección del campo eléctrico en distintas regiones del espacio. Uno de estos estudiantes no reconoció la presencia de campos eléctricos diferentes en cada región del espacio, pero pudo presentar una estrategia para determinar la magnitud del campo eléctrico en una región particular. El otro alumno pudo representar correctamente mediante líneas de campo el campo eléctrico en cada región del espacio, a partir de la información de la trayectoria, pero al momento de proponer una estrategia para hallar el valor del campo eléctrico en una región, recurre al modelo inapropiado de carga puntual. Este resultado estaría mostrando un conocimiento parcialmente logrado por parte de estos estudiantes.

- Como posibles TA, empleados por, al menos, la mitad de los estudiantes en la primera etapa, se encuentran: “el campo cambia la trayectoria” (obviando la fuerza), “la fuerza modifica la trayectoria” (sin explicitar el campo), “ley de cargas”, “a mayor velocidad mayor alcance” (proporcionalidad directa, sin considerar superposición de movimientos), “alcance proporcional al cuadrado de la velocidad”, “a mayor carga menor alcance” (proporcionalidad inversa).
- Se reconocen como posibles TA (Teoremas en acto): “el campo cambia la trayectoria”, y “si la trayectoria no es recta, hay campo”. Estos mostrarían una incorporación a las explicaciones, de significados y relaciones propias del campo conceptual del concepto bajo estudio, es decir del Electromagnetismo, dejando de lado los conceptos y relaciones propios del campo conceptual de la mecánica.
- En la segunda etapa de la investigación, correspondiente a la indagación sobre el movimiento de cargas en campos magnéticos, los alumnos mostraron una mayor disponibilidad de conceptos. Esto se manifestó en el uso de representaciones variadas de los significados: verbales, pictóricas y algebraico-simbólicas. En particular, la progresiva interpretación de representaciones pictóricas de tipo imagen (como las brindadas por los simuladores) es una habilidad que debe enseñarse para que los estudiantes las apliquen de manera eficaz en la ampliación de sus modelos conceptuales, como señalan Lombardi, Caballero, Moreira (2003). De lo anterior se desprende que el mejor rendimiento de los estudiantes en cuanto a la interpretación de los simuladores (en esta segunda etapa) puede deberse a la adquisición de destrezas relativas al uso (lectura) de representaciones de tipo pictóricas, destrezas adquiridas en una etapa anterior del curso.
- En la etapa diagnóstica correspondiente al movimiento de cargas en campos magnéticos, segunda fase de la investigación, los posibles IOF (Invariantes operatorios físicos) mostrados por los alumnos en las representaciones escritas son la relación entre la fuerza magnética, la trayectoria y el campo magnético, que en general, la mayoría de los estudiantes pudo interpretar y verbalizar, y en algunos casos, representar pictóricamente. Los posibles TA (Teoremas en acto) evidenciados en las

respuestas de los alumnos correspondientes al movimiento de una carga en una dirección perpendicular al campo magnético, son: El campo magnético modifica el movimiento; el campo magnético ejerce fuerza sobre cargas en movimiento; la fuerza modifica la trayectoria; el sentido de recorrido de la trayectoria dependerá del signo de la carga; la trayectoria de la carga será circular; la fuerza magnética actúa como fuerza centrípeta. Estas afirmaciones de los estudiantes estarían indicando el reconocimiento significados: carga, campo magnético, trayectoria, fuerza sobre cargas en movimiento, y relaciones (fuerza-velocidad-campo, fuerza perpendicular al campo, regla de producto vectorial). Mientras que algunos alumnos mostraron la disponibilidad de IOM (Invariantes operatorios matemáticos) necesarios para transformar las relaciones anteriores en expresiones algebraicas simbólicas adecuadas, otros presentaron argumentos contradictorios.

- El uso del simulador como recurso en la situación presentada como Laboratorio virtual en esta segunda fase, permitió a los estudiantes expresar mediante representaciones verbales lingüísticas, diferentes relaciones entre los significados de fuerza, carga, velocidad, campo, trayectoria. Las relaciones fueron respaldadas en algunos casos por representaciones pictóricas del tipo figura, y en otros por representaciones algebraicas en la forma de expresiones de relaciones funcionales.
- Todos los estudiantes mostraron disponer de representaciones de las relaciones entre fuerza magnética y trayectoria, que les permitieron caracterizar la trayectoria de iones en campos magnéticos uniformes mediante afirmaciones dadas en lenguaje verbal. También mostraron caracterizaciones adecuadas de la fuerza magnética que actúa sobre cargas en movimiento, vinculando esta fuerza con las centrípetas estudiadas en el campo conceptual de la mecánica.
- También los alumnos evidenciaron poseer representaciones de relaciones entre fuerza magnética y signo de la carga, al reconocer que la trayectoria cambiará su sentido al cambiar el signo de la carga, mostrando en sus explicaciones el adecuado uso de los conceptos de sentido de giro horario/anti horario, fuerza, radio.

- Los estudiantes pudieron explicitar los efectos que producirían sobre la trayectoria de la partícula los cambios de distintos factores (masa, carga, campo, velocidad). Las respuestas fueron dadas fundamentalmente en lenguaje verbal, aludiendo a la “proporcionalidad / proporcionalidad inversa” como justificación. En ningún caso expusieron como garantías relaciones simbólicas algebraicas que permitieran cuantificar las relaciones verbales.
- Al considerar la trayectoria de la carga en movimiento en presencia de campos eléctricos y magnéticos uniformes y perpendiculares entre sí, las respuestas de los alumnos del grupo F no dan cuenta de haberse apropiado del significado de movimiento de cargas en campos, ni de la potencialidad del uso del simulador, lo cual se desprende de las respuestas dadas: los estudiantes del grupo F en general no consideraron la perturbación provocada por el campo eléctrico, con lo que evidenciaron no disponer (o disponer de manera muy débil) de representaciones para poder comunicar su interpretación del comportamiento de la carga sometida a los dos campos, eléctrico y magnético. Las respuestas verbales (“las trayectorias serán opuestas entre sí”) darían cuenta de la comprensión de la característica de la interacción electromagnética dependiendo del signo de la carga, pero no indican una comprensión de la forma en que cada campo interactúa con la partícula cargada. En las respuestas de los alumnos del grupo P, los estudiantes mostraron reconocer la presencia de ambos campos, la interacción de cada uno con la carga, y, en algunos casos, mediante representaciones adecuadas, las características de estas interacciones, mediante respuestas que aludían a la superposición de fuerzas con características diferentes.
- Los IOF (Invariantes operatorios físicos) dominantes en las explicaciones de los estudiantes en los informes de laboratorio fueron significados y relaciones correspondientes al campo conceptual de la mecánica y del electromagnetismo. Entre los primeros están los significados de trayectoria, movimiento, fuerza y velocidad, y las relaciones entre fuerza y cambio en el movimiento. Entre los significados del campo conceptual del electromagnetismo se reconocen: campo magnético y fuerza magnética, y las relaciones inherentes al campo conceptual del electromagnetismo (entre fuerza-carga-campo magnético; entre fuerza magnética y signo de la carga; entre fuerza magnética y velocidad; entre radio, velocidad, campo

magnético, carga y masa). Todos los estudiantes recurren a representaciones pictóricas de trayectoria (mediante pantallas).

- Los IOM (Invariantes operatorios matemáticos) que se deducen de los informes de los estudiantes correspondientes al laboratorio virtual de magnetismo, están los significados de Circunferencia y trayectoria circular, y en un alumno de Fuerza como campo vectorial. Todos los alumnos reconocen operaciones y propiedades relativas al producto escalar-vector, en tanto que sólo un estudiante explicita el producto vectorial y la regla práctica de la mano derecha para producto vectorial.
- Como posibles TA (Teoremas en acto) de esta fase, en la tarea de laboratorio virtual, están los correspondientes a caracterización de la fuerza magnética (el campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento; la fuerza magnética es perpendicular a la velocidad); de caracterización de la trayectoria (La carga en el campo magnético realiza un movimiento circular; El signo de la carga determina el sentido de giro; El radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad y a la masa, e inversamente proporcional al valor del campo; Regla de la mano derecha determina el sentido de giro).
- En la última situación correspondiente al estudio de movimiento de cargas en campos magnéticos, los estudiantes reconocieron desde la gráfica de trayectoria de una partícula cargada, la presencia de campos magnéticos y pudieron representar gráficamente las líneas de campo. Sin embargo, sólo la mitad de los alumnos pudo ordenar correctamente las magnitudes de los campos, a partir de la observación de la trayectoria y esta misma proporción de estudiantes presentó argumentos válidos sobre la manera de lograr que una carga no ingrese en una región determinada. En tareas relacionadas a características de la fuerza magnética, todos los estudiantes identificaron la relación entre fuerza y signo de la carga, y esta característica la describieron empleando lenguaje verbal y/o algebraico, y representando gráficamente de manera incompleta la trayectoria para una nueva situación. Al representar la fuerza sobre la carga en movimiento, la mitad de los alumnos lo hizo de manera adecuada mostrando reconocer la relación entre fuerza, velocidad y trayectoria. Sólo dos alumnos reconocieron la característica del campo magnético de no modificar la rapidez de la carga.

- Los IOF, mediante significados y relaciones que dieron los alumnos, fueron los mismos que mostraron en los informes del laboratorio virtual: significados de trayectoria, movimiento circular, fuerza, radio, velocidad y campo magnético. Todos los alumnos expresaron verbalmente relaciones entre fuerza y signo de la carga, mientras que la mitad expresó verbalmente relaciones vinculando el campo magnético y el cambio en el movimiento/trayectoria; así como relaciones entre el radio de la trayectoria, la velocidad, la masa y la carga. En tanto a los IOM manifestados mediante representaciones algebraicas simbólicas para dar cuenta de las relaciones entre fuerza, velocidad y campo magnético, la mitad de los estudiantes las empleó; también algunos alumnos relacionaron el producto de un escalar por un vector con el sentido de la fuerza magnética.
- Los posibles TA en esta última fase fueron los que correspondieron en la tarea de laboratorio virtual a la “caracterización de la fuerza magnética” (el campo magnético produce una fuerza sobre la carga en movimiento; la fuerza magnética es perpendicular a la velocidad; el campo magnético produce un cambio en el movimiento); “de caracterización de la trayectoria”(La carga en el campo magnético realiza un movimiento circular; El signo de la carga determina el sentido de giro; El radio de la trayectoria es proporcional a la velocidad y a la masa, e inversamente proporcional al valor del campo; Regla de la mano derecha determina el sentido de giro).

## Conclusiones

En los informes de algunos alumnos predominaron explicaciones de tipo intuitivo, correspondientes al posible TA (Teorema en acto) proporcionalidad, expresadas en reglas de inferencia del tipo “si X aumenta... entonces Y, que depende de X, también aumenta” empleado de manera profusa en sus argumentaciones a los largo de todas las etapas de la investigación. Estos estudiantes consideran que si una variable se reduce a la mitad, otras -que dependen de ésta- también cambian en la misma proporción, sin atender a otras posibles relaciones no lineales. La prevalencia de este TA no pudo modificarse con las diferentes situaciones presentadas. Así, las respuestas erróneas dadas por los alumnos en los casos en que empleaban incorrectamente esta regla no se debían a descuidos o a cálculos incorrectos,

sino a la presencia de estas ideas previas que eran defendidas por un gran número de estudiantes, en diferentes niveles educativos, tal como señala Carrascosa Alís (2005).

El empleo de los “laboratorios virtuales” mediante el uso de TIC (a modo de situación en la enseñanza) significaba para los alumnos realizar tareas de interpretación de consignas en lenguajes a los que, al comienzo del curso, no parecían estar habituados (no obstante prácticas semejantes en otras materias). No todos los alumnos (del grupo informado y de los cursos en general) trabajaron en los laboratorios con el mismo nivel de compromiso, lo cual se evidenció en el tipo de informe presentado.

El uso de TIC como situación en la enseñanza del concepto de movimiento de cargas en campos electromagnéticos uniformes pareciera fomentar la anticipación y validación de relaciones entre los significados físicos y matemáticos, propiciando el uso de diferentes representaciones necesarias para la conceptualización. Este aspecto es mencionado por García Barneto y Gil Martín (2006), quienes al resumir las características de los applets en la enseñanza de la Física, destacan, por ejemplo, su potencialidad para promover la formulación de hipótesis y su contrastación en un entorno constructivista de aprendizaje. Así, algunos alumnos lograron una progresiva construcción de los conceptos a lo largo de toda la indagación, la cual se mostró en la cantidad y pertinencia de relaciones y representaciones de los significados involucrados. Esta fue una construcción lograda con mayor éxito por algunos estudiantes, quienes mostraron un dominio más completo de las diferentes representaciones necesarias para caracterizar los significados y sus relaciones (emplearon representaciones verbales, algebraicas y pictóricas coherentes entre sí y cercanas a las científicas del campo conceptual bajo estudio).

Los informes presentados por los alumnos luego del uso de TIC mostraron posibles TA (Teoremas en acto), tales como “ley de cargas”, la “proporcionalidad”, “el campo modifica la trayectoria de la carga”, los cuales fueron empleados en tareas siguientes por la mayoría de los estudiantes del grupo bajo estudio, sin evidenciar alguna reestructuración o la aparición de nuevos esquemas. Otro posible TA, “las cargas giran en un campo magnético uniforme”, fue incorporado en las situaciones finales luego del estudio de magnetismo, y, a partir de ese momento, utilizados en las siguientes

explicaciones de los estudiantes. Los estudiantes en general calificaron positivamente la experiencia de los laboratorios virtuales, sin embargo, es evidente que para que pueda obtenerse un mayor beneficio de estas tecnologías en cuanto al aprendizaje de conceptos físicos, los alumnos deben tener una importante orientación para aprovechar todas las herramientas que estas brindan, dado que en general no poseen estrategias de trabajo autónomo con las mismas. Esta es una observación formulada por diferentes investigadores (Kofman, 2003; Marchisio et al, 2004; Giuliano et al., 2008; Reigosa, 2010) quienes insisten en que las herramientas aportadas por las tecnologías no son suficientes para garantizar que mediante su uso se promueva en los estudiantes determinado aprendizaje conceptual: es importante el acompañamiento en la tarea mediada por simuladores por parte del docente que permitan potenciar el uso de esta herramienta; este acompañamiento puede ser presencial o no, pero sí debe constar de adecuados instructivos enmarcados en concepciones pedagógicas claras que permitan, efectivamente, la realización de la tarea didáctica propuesta. Algunos estudiantes del grupo bajo estudio (F2, F9 y P10) mostraron una progresiva apropiación de los significados relativos al movimiento de cargas en campos, lo que se evidenció en el uso paulatino y cada vez más adecuado, de representaciones verbales y simbólicas algebraicas; el alumno F2, por ejemplo, en sus tareas iniciales, mostró escasamente el uso de representaciones verbales y simbólicas algebraicas. Sin embargo al avanzar en las situaciones estas representaciones fueron cada vez más cercanas a las propias del campo conceptual del electromagnetismo. El alumno P10, mostró desde el comienzo de las actividades gran disponibilidad de significados y relaciones, no sólo del campo conceptual de la Física sino también de la Matemática.

Así, y desde la perspectiva de la Teoría de los Campos conceptuales de G. Vergnaud, los estudiantes mostraron diferentes apropiaciones del concepto bajo estudio, ante las situaciones planteadas en forma de tareas, evidenciando un proceso de adaptación de los invariantes operatorios (significados y relaciones) y representaciones propios del campo conceptual de la Mecánica, ante las situaciones presentadas.

Los resultados obtenidos evidenciarían que los estudiantes de este pequeño grupo lograron en general una significación adecuada al nivel del curso de los conceptos en juego, mostrada en el uso de representaciones simbólicas,

pictóricas y verbales del campo conceptual de la Física y de la Matemática. Sin embargo, estas representaciones evidenciadas por los estudiantes son sólo un emergente de las que el alumno ha construido sobre el concepto, y que no siempre son expresadas (ya sea por falta de recursos para hacerlo, como por ejemplo uso del lenguaje verbal o algebraico), por lo que de ellas sólo podemos declarar cuáles son los posibles IO (invariantes operatorios, tanto conceptos en acto como teoremas en acto) que los alumnos emplearon al enfrentarse a situaciones diversas. Entre los conceptos en acto del campo conceptual de la Física, los alumnos recurren a fuerza, velocidad, campo, trayectoria, carga y relaciones entre ellos, las cuales expresan en forma verbal especialmente, y sobre las situaciones finales con mayor presencia de representaciones simbólico-algebraicas. Como posibles teoremas en acto (TA) se encuentran la denominada “ley de cargas”, la “proporcionalidad”, “el campo modifica la trayectoria de la carga”, “las cargas giran en un campo magnético uniforme”.

De lo expuesto se justificaría que, el identificar si están presente y cuáles son las representaciones y significados que los alumnos han construido sobre un concepto en particular, requiere, desde la Teoría de Vergnaud, la presencia de múltiples situaciones que pongan de manifiesto distintos aspectos del concepto a estudiar. Y entre estas situaciones, los “laboratorios virtuales” se constituyen en una herramienta poderosa para el diseño de actividades que permitan el aprendizaje de la Física.

## **Bibliografía**

- Alzugaray de la Iglesia, G. (2009): Variables que afectan la comprensión del concepto de campo eléctrico. VIII Congreso Internacional sobre investigación en la Didáctica de las Ciencias (ISSN 0212-4521). Consultada el 25 de enero de 2012, <http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-1942-1945.pdf>
- Carrascosa Alís, (2005): El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte II).El cambio de concepciones alternativas. En *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 2005, 2. Consulta el 25 de enero de 2012, <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=92020307>

- Catalán, L.; Caballero Sahelices, C. & Moreira, M. (2010). Niveles de conceptualización en el campo conceptual de la Inducción electromagnética. Un estudio de caso. En *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 4, No. 1, Jan. 2010, pp. 126-142.
- Covaleda, R.; Moreira, M. & Caballero, M. (2005). Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 4 N° 1.
- De Cudmani, L.; Pesa, M & Salinas, J. (2000): Hacia un modelo integrador para el aprendizaje de las ciencias. En *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2000, 18 (1), 3-13. Consulta el 10 de julio de 2010, <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v18n1p3.pdf>.
- Escudero, C.; González, S. & Jaime, E. (2005): El análisis de conceptos básicos de Física en la resolución de problemas como fuente generadora de nuevas perspectivas: un estudio de dinámica del movimiento circular. Consulta el 10 de julio de 2010, <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/revistaeyep/article/viewFile/6054/5460>
- Escudero, C.; Moreira, M. & Caballero, M. (2003): Teoremas-en-acción y conceptos-en-acción en clases de Física introductoria en secundaria. En *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 2, N° 3, 201-226 (2003). Consulta el 10 de julio de 2010, <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen2/numero3/art1.pdf>.
- García Barneto & Gil Martín (2006). Entornos constructivistas de aprendizaje basados en simulaciones informáticas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 5 N°2.
- Giacosa, N.; Giorgi, S. & Concari, S. (2008). El uso de simulaciones como recurso didáctico para una mejor comprensión del funcionamiento de espectrómetros de masas: una experiencia con estudiantes de ingeniería. *Memorias Noveno Simposio de Investigación en Educación en Física – SIEF 9 Rosario, Argentina*.
- Giuliano, M.; Sacerdoti, A.; Santórsola, M.; Nemirovsky, I.; Pérez, S.; Álvarez, M.; Cruz, R. & Díaz, F. (2008). Una experiencia didáctica con la utilización de applets. *Memorias Noveno Simposio de Investigación en Educación en Física – SIEF 9 Rosario, Argentina*.

- Kofman, H. (2000): Modelos y simulaciones computacionales en la enseñanza de la Física. Consulta el 10 de julio de 2010, <http://www.fiquis.unl.edu.ar/galileo/download/documentos/modelos.pdf>
- Lombardi Licciardi, G.; Caballero Saheliz, C. & Moreira, M. (2009): Las representaciones pictóricas como recursos semióticos. Caso equilibrio químico. Consulta el 2 de marzo de 2012, <http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-1596-1601.pdf>
- Llancaqueo, A.; Caballero, M. & Moreira, M. (2003): El aprendizaje del concepto de campo en Física: una investigación exploratoria a la luz de la teoría de Vergnaud. En *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 25, no.4. Consulta el 2 de junio de 2010, <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v25n4/a11v25n4.pdf>
- Llancaqueo, A.; Caballero, M. & Moreira, M. (2003). El concepto de campo en el aprendizaje de la Física y en la investigación en educación en ciencias. En *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 2, Nº 3, 227-253 (2003).
- Martinho & Pombo (2009). Potencialidades das TIC no ensino das Ciências Naturais – um estudo de caso. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol.8 Nº2 (2009)
- Moreira, M. (2002): La Teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área. En *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), 2002. Consulta el 10 de julio de 2010, <http://www.if.ufrgs.br/ienci>
- Santos Benito y Gras-Martí (2003): Conocimientos de Física de alumnos universitarios. Influencia de las reformas educativas. En *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 2, Nº 2, 126-135 (2003). Consulta el 8 de marzo de 2010, <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen2/Numero2/Art3.pdf>
- Periago Oliver, M. & Bohigas Janoher, X. (2005): Persistencia de las ideas previas sobre potencial eléctrico, intensidad de corriente y ley de Ohm en los estudiantes de segundo curso de Ingeniería. *REDIE. Revista Electrónica de Investigación Educativa*, vol. 7, núm. 2, 2005, p. 0. Consulta el 8 de marzo de 2010, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15507207>
- Sandoval, M. y Mora, C. (2009): Modelos erróneos sobre la comprensión del campo eléctrico en estudiantes universitarios. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 3, No. 3, Sept. 2009. Consulta el 2 de octubre de 2010, [http://journal.lapen.org.mx/sep09/25\\_LAJPE\\_285\\_Manuel\\_Sandoval.pdf](http://journal.lapen.org.mx/sep09/25_LAJPE_285_Manuel_Sandoval.pdf)

- Stipcich, S.; Moreira, M. & Caballero, C. (2007) La construcción de nociones sobre temas complejos, en estudiantes de educación media: un análisis mediante la Teoría de los campos conceptuales. Consulta el 10 de febrero de 2011, <http://redie.uabc.mx/vol9no1/contents-stipcich.html>
- Vergnaud, G. (1990): La Teoría de los Campos conceptuales. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 10, nº 2, 3, pp. 133-170, 1990. Consulta el 10 de enero de 2010, [http://ipes.anep.edu.uy/documentos/curso\\_dir\\_07/modulo2/materiales/didactica/campos.pdf](http://ipes.anep.edu.uy/documentos/curso_dir_07/modulo2/materiales/didactica/campos.pdf)