

# La potencialidad de las simulaciones de campo eléctrico desde la perspectiva de la teoría de los campos conceptuales de vergnaud

Gloria E. Alzugaray<sup>1</sup>, Marta B. Massa<sup>2</sup>, Marco A. Moreira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad Regional Santa Fe- Universidad Tecnológica Nacional Lavaise 610, 3000 Santa Fe- Argentina.

<sup>2</sup>Facultad Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Universidad Nacional de Rosario- Pellegrini 250, 2000 Rosario-Argentina.

<sup>3</sup>Instituto de Física – UFRGS- Caixa Postal, 15051 – Campo do Vale.

**E-mail:** galzugar@ frsf.utn.edu.ar

(Recibido el 28 de Octubre 2013; aceptado el 30 de Marzo de 2014)

## Resumen

En este trabajo se presenta un estudio realizado con estudiantes de segundo año de la carrera de Ingeniería Mecánica perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional. El mismo involucra los conceptos de campo eléctrico, potencial eléctrico y magnitudes relacionadas. Teniendo como marco la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, se analizan las actividades cognitivas que ponen en juego los estudiantes al abordar un trabajo práctico a partir de un software de simulación.

**Palabras clave:** Simulaciones, campos conceptuales, campo eléctrico.

## Abstract

This paper discusses a research about the construction of the concepts of electric field, electric potential and related quantities, done by second year students of Mechanical Engineering at the Regional Santa Fe Faculty of the National Technological University. Taking into account the Theory of Conceptual Fields of Vergnaud, the cognitive activities involved by the students within a laboratory work using a simulation software are analyzed.

**Keywords:** Simulations, theory conceptual fields, electric field.

**PACS:** 01.40, Fk, 01.40-d

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

Es innegable la relevancia que ha tenido en las últimas décadas el uso de las tecnologías computacionales en el campo científico. En la Educación en Física, en Argentina, la incorporación de las mismas es más reciente, aportando beneficios a partir de las diferentes modalidades de su empleo, ya sea en la recolección y análisis de datos en las actividades experimentales, la simulación de fenómenos, la graficación, la comunicación, entre otras.

El uso de las simulaciones en el aula requiere de un enfoque didáctico que permita a los docentes tener una visión acerca de cómo los estudiantes aprenden conceptos científicos mediante el uso de estos recursos por ejemplo, el de *campo eléctrico*. Éste es un concepto no sencillo de internalizar por los estudiantes en la Física Básica universitaria no sólo por su nivel de abstracción sino también por la tensión que se produce frente a la noción de fuerza eléctrica como interacción a distancia. Diversos investigaciones han destacado las dificultades reconocidas en los estudiantes en su conceptualización [1, 2, 3, 4, 5, 6,

7, 8, 9] Tales dificultades están asociadas con las debilidades en los conocimientos e interpretaciones del álgebra vectorial y de las representaciones gráficas y simbólicas, así como a las fijaciones funcionales derivadas de informaciones recibidas a lo largo de la instrucción.

Los trabajos prácticos ocupan un lugar importante en la enseñanza de Física Básica en las carreras de Ingeniería por cuanto constituyen instancias donde se introducen situaciones diferentes y variadas, tanto con el formato de problemas de lápiz y papel como de actividades experimentales, para enriquecer significados de conceptos, integrar contenidos, promover razonamientos, desarrollar y afianzar procedimientos. La incorporación de la simulación en los trabajos prácticos ofrece un marco para la visualización de aspectos involucrados en el concepto de *campo eléctrico*. Permite, además, al estudiante contrastar sus propias conceptualizaciones, en forma gráfica e inmediata.

Este artículo se centra en el uso de un trabajo práctico de simulación como una actividad de resolución de problemas de campo eléctrico, donde se recurre a nociones

tanto del dominio teórico al cual refiere la situación, como del dominio metodológico, ambos en íntima relación. Para la organización de la actividad se realizó un relevamiento de distintos software de simulación libre disponibles en la web, y se escogió uno que permitió diseñar actividades compatibles con los enfoques disciplinares y didácticos establecidos en la cátedra Física Eléctrica de la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional (FRSF-UTN). Por ello se consideró importante que la inclusión del software de simulación entre los materiales curriculares fuera acompañada de un proceso reflexivo de los profesores que fundamentara la elección, por cuanto no se trataba de una selección sólo por el atractivo o interés que conlleva en sí mismo este tipo de recurso, sino de analizar el diseño de estrategias de enseñanza integradas y coherentes con los enfoques disciplinares y didácticos [10, 11]

## II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La Teoría de los Campos Conceptuales [12, 13] postula que el conocimiento se organiza en *campos conceptuales*, definidos como grandes conjuntos informales y heterogéneos de situaciones y problemas, para cuyo análisis y tratamiento son necesarios variadas clases de conceptos, representaciones simbólicas, operaciones del pensamiento y procedimientos que se conectan unos con otros durante su aprendizaje o adquisición [14, 15, 16]. El *esquema*, noción central de esta teoría, es una totalidad organizada que permite generar una clase de conductas diferentes en función de las características particulares de cada una de las situaciones a la cual se dirige. Vergnaud distingue dos clases de situaciones: aquellas para las cuales el sujeto dispone, en su repertorio, de competencias necesarias para el tratamiento relativamente inmediato de la situación; aquellas para las cuales el sujeto no dispone de todas las competencias necesarias, lo que le obliga a un tiempo de exploración y de reflexión, de dudas, tentativas abortadas, y le conduce eventualmente al éxito o al fracaso. En el primer caso, se ponen en juego conductas muy automatizadas, organizadas por un esquema único; en el segundo caso, se observa el esbozo sucesivo de varios esquemas, que pueden entrar en competición y que, para llegar a la solución buscada, deben ser acomodados, separados y recombinados; este proceso se acompaña necesariamente de descubrimientos. 'Es en los esquemas donde se deben investigar los conocimientos en acto del sujeto que son los elementos cognitivos que permiten a la acción del sujeto ser operatoria. Los esquemas descansan siempre sobre una conceptualización implícita y algunos invariantes que hacen que el esquema sea operatorio. Las inferencias son indispensables para la puesta en funcionamiento del esquema en cada situación particular. El funcionamiento cognitivo del sujeto comporta operaciones que se automatizan progresivamente y de decisiones conscientes que permiten tener en cuenta valores particulares de las variables de la situación.

Los conceptos-en-acción pueden ser objetos, predicados o bien una categoría de pensamiento considerada como importante o adecuada. Los teoremas-en-acción son proposiciones, consideradas como verdaderas por el sujeto, sobre un aspecto de la realidad [17]. Cabe destacar que los conceptos-en-acción y teoremas-en-acción no son ni verdaderos conceptos ni verdaderos teoremas, pues se orientan hacia el saber hacer y no hacia la conceptualización. Ambos integran el conocimiento-en-acción el cual permite actuar frente a determinadas situaciones, independientemente de ser verdadero o apropiado de acuerdo a algún criterio científico.

Para Vergnaud, los verdaderos conceptos son relacionales y definidos como la terna  $C=(S,R,I)$ , donde **S** es un conjunto de situaciones como referentes que dan sentido al concepto, **I** es un conjunto de invariantes operatorios asociados al concepto y que constituyen su significado y **R** es un conjunto de representaciones simbólicas como significante (lenguaje natural, gráficos y diagramas, sentencias formales), que expresan, en forma explícita, los invariantes operatorios.

Vergnaud prestó particular atención a la didáctica centrando su atención en el sujeto que aprende y en el rol del docente, señalando:

- Los docentes son mediadores, usan palabras y frases para explicar, preguntar, seleccionar información, proponer metas, reglas, etc.; el lenguaje y los símbolos son importantes en ese proceso; deben ayudar a los estudiantes a desarrollar esquemas y representaciones.
- Los estudiantes se vuelven capaces de enfrentar situaciones cada vez más complejas desarrollando sus esquemas.
- La acción mediadora más importante de un docente es la de suministrar a los estudiantes situaciones fructíferas para su aprendizaje.
- La elección de las situaciones y su secuenciación es esencial para que el alumnado desarrolle esquemas potenciales.

## III. METODOLOGÍA

El desarrollo del contenido *campo eléctrico (E)* en el curso Física Eléctrica para estudiantes de Ingeniería de la FRSF-UTN se estructuró en 4 fases: *iniciación* (destinada a la motivación de los estudiantes y a la activación de conocimientos previos, trabajándose sobre la comprensión lectora de un texto de Feymann, Leighton y Sands [18]; *desarrollo* (comprendió una secuencia de actividades seleccionadas para que los estudiantes trabajen, en forma progresiva, sobre diferentes tipos de situaciones, con aspectos que atienden a dar significado al concepto de **E** como una función del espacio, sus diversas formas de representación y su relación con el potencial eléctrico y la energía); *síntesis y autoevaluación* (con actividades propuestas en una guía diseñada teniendo en cuenta los conceptos organizadores del concepto de **E** de Llancaqueo, Caballero y Moreira [6], orientadas a la producción de explicaciones y su fundamentación por parte

de los estudiantes); *refuerzo* y *ampliación* (con actividades específicas utilizando un software de simulación, atendiendo a las debilidades individuales identificadas en el aprendizaje).

Participaron 20 estudiantes de Física Eléctrica de la FRSF - UTN, los mismos se dividieron en 5 grupos de 4 alumnos cada uno para la realización del Trabajo Práctico. Si bien el número de alumnos era superior, sólo se trabajó con los alumnos presentes el día de la actividad, que no era obligatoria.

La investigación, se centró en la última fase mencionada por cuanto ofrece información relevante para seguir la evolución del aprendizaje del concepto de campo eléctrico reconociendo los invariantes operatorios que utilizan los estudiantes para resolver situaciones problemáticas, producir explicaciones y fundamentar sus ideas.

La simulación seleccionada corresponde al programa denominado FisLab.net. Está organizado de acuerdo con los criterios propuestos por Pere Marquès Graells [19]. Dicho sitio constituye un programa interactivo, sobre contenidos de electrostática, que permite trabajar con diferentes configuraciones discretas de cargas eléctricas, analizar y calcular el campo y potencial eléctrico generado por las mismas, pudiéndose representar de distintas maneras. La guía de actividades, que acompañó el uso de la simulación, orientó la construcción significativa del concepto de campo eléctrico como una función del espacio, sus diversas formas de representación y su relación con el potencial eléctrico.

Se tuvo en consideración para la selección del software de simulación:

- la reproducción de fenómenos eléctricos difícilmente observables de manera directa,
- la oportunidad que brinda para que el estudiante ponga a prueba sus conocimientos previos acerca de los fenómenos eléctricos,
- la posibilidad que ofrece para que el alumno comprenda mejor el modelo conceptual utilizado para explicar el fenómeno, por ejemplo, de superposición de campos,
- la simulación permite modificar a voluntad parámetros y condiciones iniciales que aparecen en el modelo conceptual.
- la simulación evita al estudiante cálculos numéricos complejos, permitiéndoles concentrarse en los aspectos conceptuales de la situación planteada. (El cálculo numérico no queda excluido sino que se considera necesario postergarlo hasta avanzar en la conceptualización de campo eléctrico.)

La guía del trabajo práctico fue organizada sobre una secuencia de situaciones cuya caracterización se presenta en la Tabla I, algunas de las cuales ya se habían trabajado en las fases anteriores. En el trabajo práctico se requirió a los estudiantes (distribuidos en 4 grupos) que simulen con el software seleccionado y resuelvan las cuatro situaciones presentadas en la Tabla I. Se analizaron las producciones de los estudiantes, desde la perspectiva teórica de los Campos Conceptuales de Vergnaud.

**TABLA I.** Caracterización del Trabajo Práctico de simulación.

Situación	Objetivo	Conceptos requeridos
<b>1:</b> Represente el campo eléctrico mediante vectores de campo y líneas de campo.	Estudiar el campo eléctrico generado por cargas eléctricas en reposo, en particular, su representación, el reconocimiento y descripción de propiedades asociadas a dicha configuración.	Carga, fuerza eléctrica, campo eléctrico, principio de superposición, líneas de campo
<b>2:</b> Analice el campo eléctrico generado por una o más cargas puntuales.	Representar, determinar e interpretar el campo de cargas puntuales (distribuidas en forma discreta).	«Intensidad de campo» y su dependencia con la distancia y la carga generadora del campo.
<b>3:</b> Represente las regiones equipotenciales.	Interpretar las representaciones del potencial eléctrico y su variación espacial.	Relación entre las líneas de <b>E</b> y las superficies equipotenciales.
<b>4:</b> Se tienen cuatro cuerpos cargados de dimensiones pequeñas con cargas eléctricas de igual valor absoluto, el signo de ellas puede escogerse arbitrariamente. Hallándose ubicadas en los vértices de un cuadrado: a-Realice una representación de las distintas configuraciones espaciales de cargas con todas las posibilidades de signos de las cargas a adoptar. b-Analice y fundamente en qué punto o puntos colocarías una carga de prueba donde la fuerza resultante sobre la misma sea nula. c-Analice el tipo de equilibrio que experimenta la carga de prueba en cada caso.	Analizar la representación gráfica del campo eléctrico a través de las líneas de campo y su aplicación al estudio cuantitativo del mismo.	«Intensidad de campo» para una carga puntual y distribuciones de cargas puntuales.

#### IV. RESULTADOS

Se sintetizan, a continuación, los invariantes operatorios reconocidos en las interpretaciones de los estudiantes de las imágenes observadas y discutidas en el informe escrito e intervenciones orales.

**TABLA II.** Invariantes operatorios y reglas de acción inferidas de la resolución de la Situación 1.

Invariantes operatorios		Reglas de acción
Conceptos-en-acción	Teoremas-en-acción	
campo <b>E</b> vectores líneas de campo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La intensidad y dirección del campo <b>E</b> en cada región se representa mediante vectores.</li> <li>- Analizar primero la pantalla con línea de campo para entender la representación con los vectores <b>E</b> superpuestos.</li> <li>- La representación con líneas de campo es mejor para cualquier distribución de cargas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si la longitud del vector aumenta, el campo en ese punto es más intenso.</li> <li>- Si los vectores se superponen, analizo sólo la representación con líneas de campo.</li> <li>- La ventaja de la representación de líneas de campo <b>E</b> se hace evidente para más de cuatro cargas.</li> <li>- Para conocer la intensidad de campo, es suficiente con poner una superficie perpendicular a la figura y contar las líneas de campo que la atraviesan.</li> </ul>

**Situación 1:** En la Tabla II se detallan los conceptos-en-acción, teoremas-en-acción y las reglas de acción que revelan los estudiantes en sus producciones

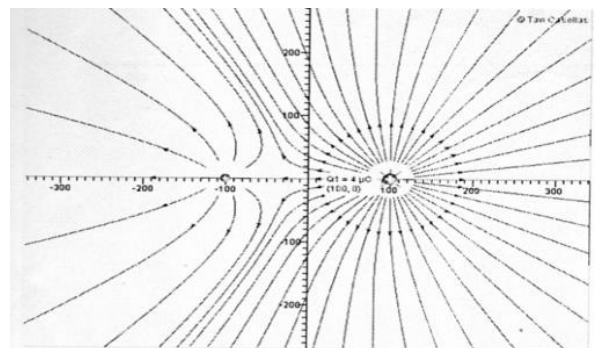
Se evidencia en el estudio la preferencia de los estudiantes por la representación en base a líneas de campo frente a la representación vectorial, en especial cuando se producen superposición de vectores debido a sus módulos; el reconocimiento. Asimismo en sus producciones se destaca la inmediata relación entre la intensidad de **E** y los valores de las cargas y de la distancia a ellas. Esta situación se ve favorecida por la rápida visualización en las pantallas de los cambios y posiciones de las cargas puntuales aisladas.

**Situación 2:** En la Tabla III se detallan los conceptos-en-acción, teoremas-en-acción y reglas de acción que emergieron del trabajo de los grupos.

**TABLA III.** Conceptos-en-acción, teoremas-en-acción y reglas de acción inferidas para la situación 2.

Invariantes operatorios		Reglas de acción
Conceptos-en-acción	Teoremas-en-acción	
carga puntual coordenadas campo <b>E</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las líneas de campo salen para cargas positivas.</li> <li>- Para dos cargas puntuales iguales el campo tiene simetría.</li> <li>- Con las líneas de campo reconozco la dirección y sentido de campo eléctrico porque es su tangente.</li> <li>- Donde las líneas se rechazan, hay campo nulo.</li> <li>- El análisis de un campo generado por una o dos cargas puntuales facilita inicialmente los cálculos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se traza la tangente a las líneas de campo, se encuentra el vector <b>E</b>.</li> <li>- Si una carga es muy chica frente a otra, casi no cambian las líneas de <b>E</b>.</li> <li>- Si dejo una carga fija y muevo la otra, las líneas de <b>E</b> cambian.</li> <li>- Si se ponen cargas puntuales alineadas obtengo el campo de una placa plana cargada.</li> <li>- Si se disponen las cargas siguiendo una línea circular cerrada se puede obtener el campo de una distribución esférica.</li> </ul>

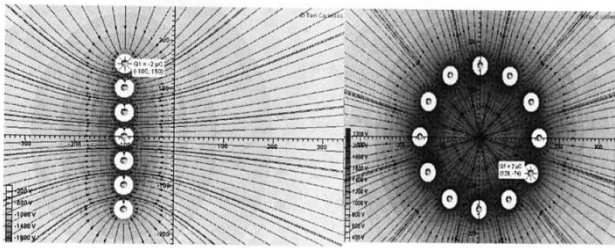
La posibilidad de modificar las posiciones de cargas de igual valor absoluto y ubicarlas en distintas posiciones favoreció que los estudiantes potencien la noción de simetría y visualicen singularidades en el comportamiento del campo eléctrico. Asimismo, se registró en el relato de los estudiantes el interés generado por las significativas modificaciones en las líneas de campo cuando se trabaja con cargas de distinto valor, tal como se observa en la Figura 1.



**FIGURA 1.** Pantalla con la simulación de las líneas de campo para dos cargas distintas (Situación 2).

También favorece la organización de configuraciones que simulan una placa plana cargada y una superficie esférica, a partir de la superposición de los campos de las cargas

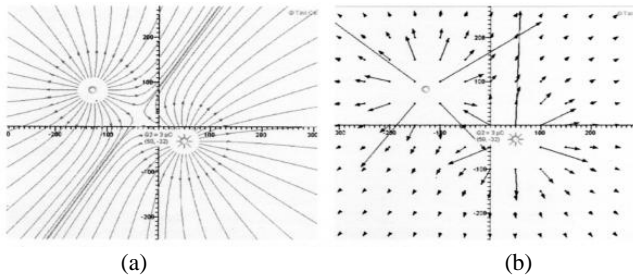
individuales (Figura 2) como fuera realizado por un grupo y luego, frente a sus comentarios, replicado por otros.



**FIGURA 2.** Pantalla con la simulación de una placa plana y una superficie esférica cargada (Situación 2).

Con la actividad de simulación los estudiantes reconocieron que la presencia de una carga de prueba en un campo eléctrico no altera la distribución de las cargas que crean el campo. Asimismo se observó la tendencia a introducir variadas modificaciones en las posiciones relativas entre cargas, entre sus valores y signos para visualizar anticipaciones emergentes de los participantes del grupo.

Reconocieron distintas configuraciones espaciales de cargas con diferentes posibilidades de signos y de valores a adoptar. También propusieron diferentes ubicaciones espaciales (Figura 3). El software favoreció que los estudiantes exploraran las correspondientes representaciones de campo eléctrico tanto mediante vectores como con líneas de campo eléctrico para dos o más cargas.



**FIGURA 3.** Representación del campo eléctrico mediante vectores y líneas de campo eléctrico para dos cargas iguales del mismo signo.

En el informe correspondiente al grupo 1, referido a las Figuras 3 (a y b), los alumnos argumentan:

“Vemos en la figura la representación del campo eléctrico mediante las dos formas que ofrece el simulador para la configuración de dos cargas puntuales iguales en magnitud y signo, a la izquierda vemos la representación mediante líneas de campo eléctrico y a la derecha la representación mediante vectores de campo. La ventaja que ofrece la primera es un gráfico agradable a la vista pero para su interpretación se deben tener un sólido conocimiento de los criterios por los cuales se rige esa

representación. La representación mediante vectores campo eléctrico permite ver de manera directa la intensidad y dirección del campo eléctrico en cada región, representada por la longitud o norma de cada vector supuesto están en la misma escala, pero a pesar de esta ventaja, los vectores superpuestos pueden resultar confusos y el dibujo difícil de interpretar en cuanto al impacto visual.”

En esta argumentación se evidencia una aproximación a interpretaciones más abstractas, dando significado a la representación de  $\mathbf{E}$  mediante líneas de campo (Figura 3a) en función de su representación vectorial como tangente a la línea de campo en cada punto del espacio y de forma que cada uno de ellos dé la intensidad y la dirección en ese punto (Figura 3b).

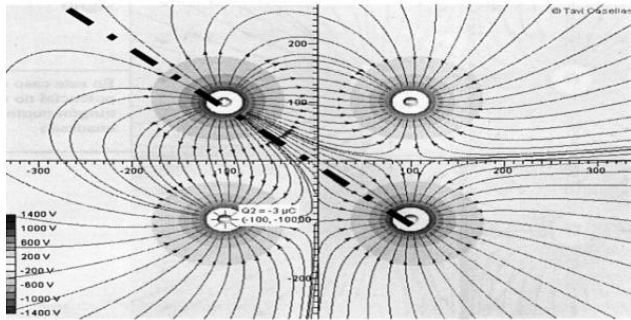
También se observa la valoración realizada a las dos formas de representación de  $\mathbf{E}$  con un criterio estético y otro conceptual-simbólico: la de la izquierda (a) es “agradable a la vista” pero demanda mayor carga cognitiva para interpretarla; la de la derecha (b) “... puede resultar confuso...” en un impacto visual, si bien “...permite ver de manera directa la intensidad y dirección del campo eléctrico en cada región...”. No explicitan la vinculación entre las dos representaciones.

**Situación 3:** En la Tabla IV se presentan los aspectos identificados en las producciones de los estudiantes. Su análisis da indicios que los estudiantes pueden verificar sus supuestos, con la visualización gráfica, tanto de la representación por líneas de campo como de la vectorial, para situaciones con más de dos cargas.

**TABLA IV.** Conceptos-en-acción, teoremas-en-acción y reglas de acción inferidas para la situación 3.

Invariantes operatorios		Reglas de acción
Conceptos-en-acción	Teoremas-en-acción	
campo $\mathbf{E}$ regiones equipotenciales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El eje horizontal divide el campo de un dipolo en dos regiones simétricas. El eje vertical separa el plano en dos regiones equipotenciales.</li> <li>- Como hay regiones de potencial negativo y regiones de potencial positivo relacionados de manera directa, debe existir al menos un punto donde el potencial se anula.</li> <li>- Las regiones equipotenciales son perpendiculares a las líneas de campo <math>\mathbf{E}</math> para distintas configuraciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si una fuerza mueve una partícula por una región que presenta el mismo color no realiza trabajo para vencer fuerzas eléctricas.</li> <li>- Si se ubican distintas configuraciones de carga en forma inmediata se tienen dibujadas las líneas de campo y las regiones equipotenciales en simultáneo.</li> </ul>

**Situación 4:** En la Tabla V se muestran los conocimientos-en-acción reconocidos. El grupo 1 señala en referencia a la figura 4 que “la densidad de líneas de campo **E** que llegan a la carga negativa por la diagonal, muestra dos puntos que verifican la nulidad del vector campo **E**, estos puntos están próximos a la zona media de la imaginaria línea que une las cargas de igual signo”. De esta manera efectúa una lectura interpretativa de las líneas de campo y la posición donde se anularía el mismo.



**FIGURA 4.** Pantalla con la simulación de líneas de campo para tres cargas negativas y una positiva

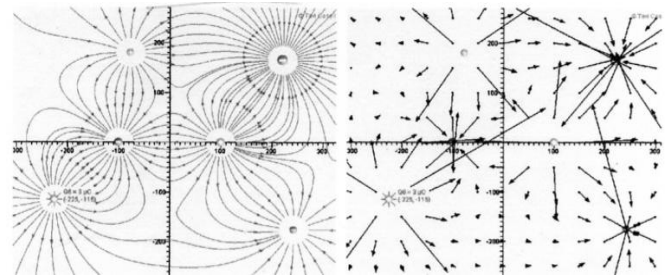
**TABLA V.** Conceptos-en-acción, teoremas-en-acción y reglas de acción inferidas en relación a la situación 4.

Invariantes operatorios		Reglas de acción
Conceptos-en-acción	Teoremas-en-acción	
cargas puntuales campo <b>E</b> potencial eléctrico	<u>Cuatro cargas positiva</u> - El potencial no puede anularse porque la suma del potencial eléctrico debido a cada carga puntual todos los términos son positivos.	- Si se rotan las cuatro cargas positivas, el campo eléctrico no se modifica sólo si las cargas son iguales. - Si se cambia la posición relativa entre cargas, el campo se modifica.
	<u>Dos positivas y dos negativas)</u> - Al igual que en el dipolo se verifica que el eje Y separa dos regiones equipotenciales que varían de negativo a positivo, esto demuestra que en algún punto o conjunto de puntos el potencial eléctrico debería ser cero.	- En la región formada por las cuatro cargas siempre hay una lectura del campo distinta de cero. - Si se analiza de a par consecutivo, el campo entre ellos es el de un dipolo
	<u>Dos positivas y dos negativas alternadas</u> - La configuración de las líneas de campo se pueden interpretar en función del campo de pares de cargas.	- Si se analiza según la diagonal del cuadrado, el campo es el de cargas opuestas. - Si la densidad de líneas se reduce, el campo se atenúa.
	<u>Tres negativas una positiva</u> - La curvatura de las líneas de campo permiten encontrar los puntos donde el campo se anula.	- Si las zonas donde se anula el potencial se halla en el límite de las superficies equipotenciales de las distintas cargas, el campo se anula en un punto sobre el 2do cuadrante en una recta de ecuación $y=-x$ .

Sin embargo, la mayoría de los estudiantes reiteró su preferencia por la representación mediante líneas, encontrando confusas la vectorial, fundamentalmente en las posiciones donde se observan superposiciones relativas de vectores (Figura 5b).

Para las figuras 5 (a y b), correspondiente a la representación con seis cargas los integrantes del grupo 1 acompañan con el siguiente comentario:

“Para seis cargas de variados signos e intensidad distribuidas arbitrariamente en el plano XY, la representación de campo eléctrico generado por las cargas presentes mediante vectores de campo es una gráfica muy desordenada y difícil de interpretar, los vectores se presentan superpuestos. Mediante líneas de campo la representación mantienen cierto orden y se verifican claramente las zonas que están afectadas por el campo eléctrico y cuáles se ven poco afectadas o dónde el campo eléctrico puede resultar nulo o de poca intensidad”



**a** **b**

**FIGURA 5.** Representación del campo eléctrico mediante vectores de campo y líneas de campo eléctrico para seis cargas tres positivas y tres negativas (informe correspondiente al grupo 1).

El grupo 1 también expresa una valoración favorable para la representación mediante líneas de campo ya que la considera más ordenada y clara para una identificación de la forma en que es afectado cada punto del espacio para cualquier distribución de cargas. Los estudiantes distinguen con mayor claridad las zonas donde existe campo eléctrico y la dirección del mismo. Encuentran la representación vectorial (b) “...muy desordenada y difícil de interpretar...” haciendo alusión nuevamente a la confusión que se produce cuando los vectores se superponen.

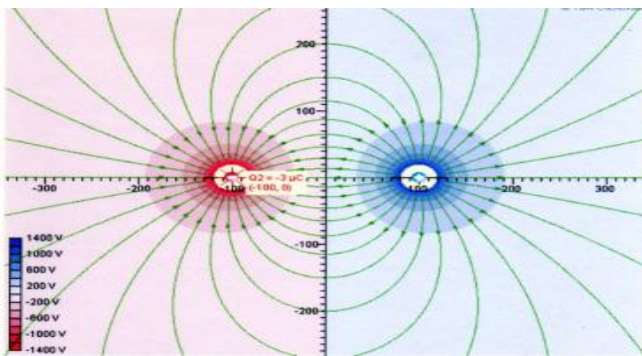
En la Fig. 6 se presenta el caso particular del dipolo eléctrico analizado por el grupo 2:

Al respecto el grupo comenta:

“Vemos en la figura la configuración del dipolo que ofrece el simulador. Solicitamos del simulador la representación del campo y potencial eléctrico mediante líneas de campo y regiones equipotenciales respectivamente. Verificamos con esta figura donde suponíamos un plano en el cual todos los puntos del plano tienen, debido a la configuración dipolo, potencial nulo, siendo ese plano el XZ. El eje Y



separa dos regiones equipotenciales, una positiva y otra negativa, necesariamente el potencial debe valer cero. Vemos claramente definidas las regiones equipotenciales, en rojo intenso los potenciales más negativos y azul intenso los potenciales positivos. También en la figura vemos las líneas de campo eléctrico que representan el campo eléctrico en la región cercana al dipolo mostrado, es notable que las líneas de campo eléctrico atraviesan las líneas límites de las regiones equipotenciales y lo hacen siempre perpendicularmente a las mismas, también vemos que al cruzarlas lo hacen siempre en dirección desde una zona de mayor potencial a una de menor potencial. Tienen relación con el gradiente de la superficie en cuanto a su dirección en cada punto pero el sentido es contrario.”



**FIGURA 6.** Representación del campo eléctrico mediante líneas de campo y regiones equipotenciales (intervalos de valores por densidad de colores) para un dipolo. Se muestra la proyección sobre el plano de la superficie equipotencial nula.

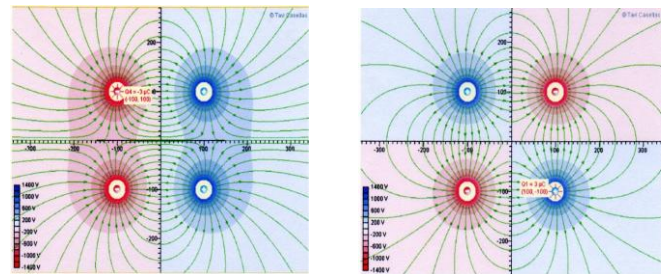
En el análisis del campo y potencial generado por cuatro cargas puntuales el grupo 2 comenta para la figura 7a:

“Para esta configuración planteada vemos en la figura dos regiones del plano en las cuales es notable la ausencia de líneas de campo eléctrico, lo cual hace suponer que el campo en esa región es muy débil. Esa región se encuentra en la mitad de la línea imaginaria que une cargas de igual signo. Si analizamos el campo debido sólo a las cargas de igual signo en el punto medio de la línea que las une, el campo eléctrico es nulo. Ahora agregamos el otro par y en ese punto el campo debido a estas últimas tiene como resultante un pequeño vector de componente ortogonal, de modo que desplazando la posición en sentido opuesto el primer par de cargas genera una componente según la misma dirección y sentido opuesto para anularlo. El mismo razonamiento para ambos lados nos resultan dos puntos en donde el vector campo eléctrico como suma de contribuciones de cada partícula cargada resulta nulo. En dichos puntos el potencial es no nulo. Al igual que el dipolo se verifica que el eje Y del gráfico separa dos regiones equipotenciales que varían de negativo (izquierda) a positivo (derecha)

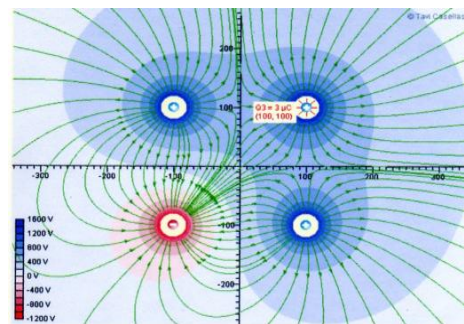
esto demuestra que en algún punto o conjunto de puntos el potencial eléctrico debería ser cero. Efectivamente todos los puntos que pertenecen al plano YZ tienen potencial nulo debido a esta configuración.”

Para la figura 7b los estudiantes del grupo 2 analizan viendo dipolos consecutivos. También se detienen en considerar el campo en la región central de la configuración cuadrada de cargas, por cada par de cargas de igual magnitud y signo ubicadas en la dirección diagonal. En la descripción que realizan estos estudiantes sobresale la consideración de los puntos de potencial nulo en zona central, así como las observadas diferencias entre cuadrantes consecutivos.

“Es notable la ausencia de líneas de campo en el centro del cuadrado que en nuestro caso coincide con el origen de coordenadas. Efectivamente el campo eléctrico en esa región del plano se anula debido al par enfrentado sobre la diagonal. Analizando el potencial eléctrico para la configuración propuesta vemos que cada cuadrante tiene potencial distinto al que le sigue. Pasando de un cuadrante a otro existen puntos donde el potencial es cero, estos puntos coinciden en la figura con los ejes coordenados X -Y. Extendiendo al espacio el plano que coincide con el plano YZ y el plano XZ verifican para todos sus puntos el potencial nulo.”



**FIGURA 7.** Representación del campo eléctrico mediante de líneas de campo y regiones equipotenciales (intervalos de valores por densidad de colores) para distintas configuraciones de 4 cargas (2 positivas y 2 negativas) (grupo 2).



**FIGURA 8.** Representación del campo eléctrico mediante líneas de campo y potencial eléctrico generado cuatro cargas: tres positivas y una negativas (grupo 2). Se observó que el grupo 2 organizó diferentes configuraciones de cargas propuestas en una actividad de la

fase II, una de las cuales se muestra en la Figura 8. Esto permitió registrar la manera en que el software de simulación cumplió con el objetivo de validar, mediante la visualización gráfica, el razonamiento realizado por los estudiantes oportunamente.

Con la visualización del campo y potencial eléctrico generado por las distintas configuraciones de cuatro cargas puntuales, solicitadas en el trabajo práctico, los estudiantes tuvieron la oportunidad de obtener una representación tridimensional girando la figura en torno del eje de simetría.

## V. CONCLUSIONES

Las acciones identificadas en la realización de las simulaciones dan indicios de procedimientos organizados desde anticipaciones, emergentes de enfoques teórico-prácticos trabajados en clases previas, a fin de estudiar comportamientos de configuraciones de cargas con complejidad creciente. Los registros muestran que las situaciones propuestas fueron enriquecidas por los estudiantes [20], quienes no se limitaron a situaciones estáticas de cargas variables en signo y valores, sino que analizaron efectos sobre el campo eléctrico  $\mathbf{E}$  y en el potencial eléctrico de cargas en movimiento. Estas acciones les han exigido un mayor nivel de comprensión, lo cual se ve reflejado en sus escritos con la construcción de representaciones cada vez más diferenciadas.

El uso de la simulación ha contribuido a organizar el concepto de campo eléctrico, integrando a la representación mediante las líneas de campo, el significado como campo vectorial a través de la imagen del vector tangente a ellas en cada punto. Se evidencia que han integrado los conocimientos de campo y potencial eléctrico a través de sus informes. La resolución de los aspectos involucrados en la actividad fue mayor que el utilizado en las prácticas habituales, dado que los estudiantes debieron adaptarse a otra metodología en el desarrollo del trabajo práctico con el simulador a la cual no estaban habituados. Si bien esto constituyó una dificultad inicial, la motivación y la familiaridad con el ordenador contribuyeron a la adaptación.

La modelización del campo eléctrico y magnitudes asociadas implica el dominio, de los alumnos, de herramientas matemáticas tales como la divergencia y el gradiente de un campo vectorial que están aprendiendo casi simultáneamente en asignaturas de Matemática. La representación mediante líneas de campo y la vectorial asociada constituyen buenos recursos para visualizar el significado de divergencia, considerando el flujo neto a través de superficie arbitrariamente orientadas. La representación mediante vectores obtenida en la simulación se constituye en un auxiliar importante para analizar las variaciones del campo  $\mathbf{E}$  según distintas direcciones, identificar entre ellas la que reviste el carácter de máxima variación, de modo de vincular sobre esta interpretación de la imagen el significado del gradiente de  $\mathbf{E}$ . En este sentido se puede resaltar el carácter integrador de la experiencia, que incluye el análisis e interpretación de gráficos en dos y

tres dimensiones, promoviendo articular las habilidades adquiridas en los cursos de Análisis Matemático a los conceptos físicos.

La identificación de esquemas para una clase definida de situaciones significó un avance hacia la identificación del campo  $\mathbf{E}$ . Así, la interpretación efectuada por los estudiantes de las imágenes da indicios de la organización cognitiva lograda por los mismos, con rasgos de lo que Vergnaud define como esquema. Uno de los resultados de esta investigación ha sido reconocer el esquema que podría denominarse de “dipolos consecutivos” aplicado por algunos estudiantes para inferir el campo en la región central de una configuración cuadrada de cargas. Éste consiste en identificar cada par de cargas que conforman dipolos en la configuración, organizar las líneas de campo correspondientes e integrarlas recurriendo a un principio de superposición. El trabajo práctico de simulación mostró su eficacia para promover una evolución en el pensamiento de los alumnos hacia una comprensión de los conceptos involucrados. En este sentido se reconoce el aporte positivo del software de simulación para el aprendizaje conceptual, concordando con los resultados obtenidos por Araujo, Veit y Moreira [21] quienes también señalan las posibilidades de interacción y visualización ofrecidas por este tipo de actividades como estrategia de enseñanza.

## REFERENCIAS

- [1] Sandoval, M. y Mora C., *Modelos erróneos sobre la comprensión del campo eléctrico en estudiantes universitarios*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **3**, 647-655 (2009).
- [2] Escudero C. y Jaime, E., *Elementos para la conceptualización de la noción de cuerpo rígido en la resolución de un problema integrativo*, Memorias XIII Reunión de educación en Física (REF XIII), Río cuarto (Córdoba, Argentina) (2003)
- [3] Furió, C. y Guisasola, J., *La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación*, Enseñanza de las Ciencias **19**, 319-334 (2001).
- [4] Greca I. M<sup>a</sup> y Moreira, M. A., *Além da detecção de modelos mentais dos estudantes: uma proposta representacional integradora*, Investigações em Ensino de Ciências **7**, 2 (2002).
- [5] Guisasola, J., Ceberio, M., y Zubimendi, J. L., *El papel científico de las hipótesis y los razonamientos de los estudiantes universitarios en resolución de problemas de Física*, Investigações em Ensino de Ciências **8**, 211-229 (2003)
- [6] Llancanqueo, Caballero, C. y Moreira, M. A., *El aprendizaje del concepto de campo en física: una investigación exploratoria a luz de teoría de Vergnaud*, Revista Brasileira de Ensino de Física **25**(4), (2003)
- [7] Moreira, M. A. y Greca, I., *Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo*, Ciência & Educação **9**, 301-315 (2003).
- [8] Pocoví, M. C. y Hoyos, E., *Estudio de caso de la comprensión de diferencia de potencial y fem en alumnos*



*avanzados y graduados en física*, Investigações em Ensino de Ciências **9**, 37-348 (2004).

[9] Solano, F., Gil, J. Pérez, A. L. y Suero, M. I., *Persistencia de Preconcepciones sobre los Circuitos Eléctricos de Corriente Continua*, Brasileira de Ensino de Física **24**, 460-470 (2002).

[10] Alzugaray, G. Capelari, M. y Carreri, R., *La potencialidad didáctica de los materiales curriculares: categorías para evaluar la incorporación de software en la enseñanza de las Ciencias Experimentales*, Revista Científica del Instituto Latinoamericano de Investigación (ILIE), 1850-1974 (2006).

[11] Alzugaray, G., Capelari, M. y Carreri, R., *La evaluación de software en la enseñanza de la Física: criterios y perspectivas teóricas*. Revista Científica del Instituto Latinoamericano de Investigación (ILIE), 3(11), <http://www.cognición.net> (2007).

[12] Moreira, M. A., Organizador. *La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, La Enseñanza de las Ciencias y La Investigación en el área*. Instituto de Física Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Textos de apoyo (2004).

[13] Vergnaud, G., *La Teoría de los campos Conceptuales*, Recherches en Didactique des Mathématiques **10**, 133-170 (1990).

[14] Rodríguez Palmero, M. L., *La Teoría del Aprendizaje Significativo Proc. of the First Int. Conference on Concept Mapping*. Pamplona, Spain (2004).

[15] Vergnaud, G., Multiplicative structures. In Lesh, R. and Landau, M. (Eds.) *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes*, (Academic Press Inc., New York, 1983), pp. 127-174.

[16] Vergnaud, G., Teoría dos campos conceituais. In Nasser, L. (Ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*, (1993) pp.1-26.

[17] Rodríguez Palmero, M. L. y Moreira, M. A., *La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área*, Investigações em Ensino de Ciências **7**(1), Art 1 (2002).

[18] Feymann, R., Leighton, R. y Sands, M., *Física vol II Electromagnetismo y materia*, (Fondo Educativo Interamericano, EE:UU,1987).

[19] Marquès Graells, P., *Plantilla para la catalogación multimedia*, (Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España, 2001).

[20] Moreira, M. A., *Aprendizaje significativo, campos Conceptuales y pedagogía de la autonomía: implicancias para la enseñanza*, Revista em Aprendizagem Significativa **2**, 44-65 (2012).

[21] Araujo, I. S., Veit, E. A. y Moreira, M. A., *Simulações computacionais na aprendizagem da Lei de Gauss para a eletricidade e da Lei de Ampère em nível de Física Geral*, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **6**, 601-629 (2007).