

Transformación de los modelos mentales sobre los conceptos de fuerza y campo eléctrico mediante la metodología Webquest, en estudiantes universitarios de Ingeniería⁺

*Ester López D.*¹

Centro de estudios Avanzados

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas

Universidad de Playa Ancha de Ciencias de la Educación

*Rafael Silva C.*²

Departamento Disciplinario de Física

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas

Universidad de Playa Ancha de Ciencias de la Educación

Valparaíso – Chile

Resumen

El presente trabajo describe una investigación experimental, realizada en educación superior que persigue transformar los modelos mentales alternativos de los estudiantes sobre los conceptos de fuerza y campo eléctrico³. La experiencia se diseña, desarrolla y explica a la luz de tres referentes teóricos: la teoría de aprendizaje significativo de Ausubel, la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird y la teoría Socio histórica de Vygotsky. Se utilizó la metodología Webquest (WQ), que ha mostrado ser eficiente para promover la motivación o disposición hacia el aprendizaje y el trabajo cooperativo de los estudiantes. La muestra corresponde a un grupo de estudiantes de Ingeniería informática que cursan la asignatura Electromagnetismo. La modalidad pre-postest, a través de un cuestionario, que permite “externalizar” los modelos

⁺ Mental models transformation concerning force and electric field concepts through the WebQuest methodology for engineering college students

* *Recebido: março de 2014.*

Aceito: julho de 2014.

¹ E-mail: elopez@upla.cl

² E-mail: rsilva@upla.cl

³ En este trabajo colaboraron como tesis de la carrera de Pedagogía en Física los alumnos Catalina Pulgar Silva, Juan Carlos Ibacache Vera y Marco Toledo Ibáñez.

mentales que los alumnos construyen, determina que los estudiantes logran transformar sus modelos mentales iniciales, alternativos, hacia una construcción conceptual más acorde con las leyes físicas correspondientes, lo que, además, permite inferir sobre la efectividad de su aprendizaje. También se logra fomentar y fortalecer en los alumnos, el trabajo cooperativo, la discusión crítica así como la apropiación del lenguaje científico adecuado para expresar en forma asertiva las ideas.

Palavras-chave: *Modelos mentales; Metodología Webquest (WQ); Enseñanza de la Física; Estudiantes de Ingeniería; Fuerza y campo eléctrico.*

Abstract

This paper describes an experimental investigation, performed in higher education, which aims to transform students' alternative mental models concerning force and electric field concepts. The experience is designed, developed and explained, in light of three theoretical frameworks: Ausubel's theory of meaningful learning; Johnson-Laird's theory of mental models; and Vygotsky's socio-historical theory. In this sense, the WebQuest methodology was adopted, which has proven to be effective in promoting motivation towards learning and cooperative work among students. The sample corresponds to a group of Computer Engineering students, who attend Electromagnetism classes. The pre- and post-tests modes, by means of a questionnaire, which reveal the mental models built by students, establish that they are able to transform their alternative initial mental models into a more accurate conceptual construction about the corresponding physical laws, and, additionally, allow one to infer about the effectiveness of their learning. Moreover, the study aims to promote and reinforce the cooperative work, critical discussions among students, and the attainment of appropriate scientific language to assertively express their ideas.

Keywords: *Mental models; Webquest methodology; Physics teaching; Engineering college students; Force and electric field.*

I. Introducción

Enseñar Física centrada en el aprendizaje significativo de los estudiantes no solo requiere conocer y manejar por parte del profesor y de los alumnos, las teorías y/o las leyes, sino que incluye el poder transponer, explicar y aplicar de manera coherente y adecuada, negociando significados, el modelo físico planteado. Uno de los tópicos más complejos de abordar, dentro de la Física General, es la asignatura Electromagnetismo, debido a la “abstracción” que presenta, ya que *“los fenómenos físicos electromagnéticos no son tan cotidianos al estudiante como lo son los fenómenos mecánicos”* (MALONEY; O’KUMA; HIEGGELKE; VAN HEUVELEN, 2001). Un conjunto importante de investigadores muestra que Electromagnetismo es una de las asignaturas de ciencias básicas que presenta dificultades de aprendizaje en los estudiantes de ciencias e ingeniería (FURIÓ; GUIASOLA, 1998; GUIASOLA; ALMUDÍ; ZUBIMENDI, 1999, 2001; MENESES; CABALLERO, 1995; BAGNO; EYLON, 1997; GUIASOLA; ALMUDÍ; CEBERIO, 2001; GUIASOLA; ALMUDÍ; CEBERIO, 2003; GUIASOLA; ALMUDI; ZUBIMENDI, 2003; GUIASOLA; ALMUDI; ZUBIMENDI, 2004 apud GUIASOLA, 2005). La mayoría de los estudiantes manifiesta cierta tendencia a otorgar realidad material y sensorial a entidades abstractas. Así, por ejemplo algunos conciben la carga eléctrica como un fluido, el campo eléctrico como una sustancia y las líneas de campo como curvas o trayectorias materiales (VELAZCO, 1998). En la mayoría de los casos los estudiantes utilizan representaciones memorísticas de las ecuaciones que no siempre son las más representativas. Así, Bagno y Nylon (1997), indican que la ecuación que más se menciona es la ley de Ohm y que son muy minoritarias las ecuaciones de Maxwell como representativas del Electromagnetismo. Bohigas y Periago (2010) consideran que el factor que puede ser importante de considerar en las dificultades de aprendizaje que presentan los estudiantes de Electromagnetismo, son los modelos mentales que ellos construyen. *“Un modelo mental es una construcción mental, interna, formada por un conjunto de leyes, pautas y secuencias lógicas que los estudiantes utilizan para interpretar la realidad”* (MOREIRA; GRECA, 1998) pudiendo ser éstos los que ocasionan una errada conceptualización de lo que se desea que aprendan los estudiantes. Porque todas las personas y en particular los estudiantes de Física construyen modelos mentales (JOHNSON-LAIRD, 1983) sobre los diferentes tópicos a estudiar, pero estos modelos son “efectivos” en la medida en que le permiten describir el fenómeno asertivamente, discutir sobre él usando el lenguaje científico, resolver problemas de lápiz y papel fundamentando sus razonamientos, deducciones y respuestas en un cuerpo teórico científico.

La enseñanza de la Física a través de una metodología tradicional, basada en un paradigma comportamentalista, al parecer no favorecería la construcción de modelos mentales efectivos en los estudiantes de ingeniería. Al revisar los libros de textos, se puede apreciar que las teorías aparecen expresadas en ecuaciones o leyes en su estado final, que el profesor transmite sin dar el tiempo y las condiciones necesarias para que los alumnos construyan los modelos mentales adecuados. Es decir, que un estudiante conozca y maneje una ecuación, no

implica que éste comprenda el fenómeno físico que el modelo matemático representa, así como no significa que el estudiante logre representar a través de modelos mentales (efectivos) la teoría que encierra esas ecuaciones o leyes (MOREIRA, 1997). Aprender Física requiere construir las representaciones mentales adecuadas para comprender un sistema físico, predecir su evolución y explicar correctamente su funcionamiento, con relación a una teoría física (ibid.). Esta estructura representacional sería adquirida fundamentalmente a partir de la enseñanza, donde una parte considerable corresponde al proceso instruccional y otra al proceso de transposición didáctica (CHEVALLARD, 1999 apud MOREIRA, 2010).

Autores como Bruffee (1999) y Flannery (1994), Barkley, Croos y Major (2007), citados en Salmerón, Rodríguez-Fernández y Gutiérrez (2010), apuntan que, desde una visión epistemológica, el aprendizaje cooperativo se basa en un sistema de enseñanza-aprendizaje controlado, guiado, que favorece la socialización entre estudiantes y profesor para compartir significados de un nuevo concepto, lo que finalmente contribuiría a una asimilación de ellos. Por otro lado, se sabe que el uso de las TIC'S (tecnologías de la información y comunicaciones) ofrece ventajas, ya que predispone a los estudiantes hacia el aprendizaje, los motiva hacia el estudio, favoreciendo el trabajo cooperativo (SALMERÓN; RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ; GUTIÉRREZ, 2010). También favorece el rendimiento académico y el desarrollo de habilidades sociales para aprender con sus iguales, adquiriendo nuevas capacidades de competencia social y ciudadana (ibid.). Además, la utilización de herramientas multimedia le permitiría a los estudiantes aprender significativamente, ya que es de esta forma que pasan a ser protagonistas de sus propios conocimientos y experiencias académicas, cuestionando sus propios modelos mentales al ponerlos a prueba recursivamente, consigo mismo, como a través de la discusión con sus pares.

Bohigas y Periago (2010), después de analizar los modelos mentales de un número importante de estudiantes españoles de ingeniería, concluyen que existe en los estudiantes “una confusión entre el concepto de campo eléctrico y la Ley de Coulomb”. Con relación a la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales de igual masa, pero de cargas eléctricas diferentes, se presentarían dos modelos mentales alternativos: “la carga mayor ejerce una fuerza mayor” y que “sobre la carga mayor actúa una fuerza mayor”, desconociendo “ley de la acción y la reacción de la Mecánica en un contexto electrostático”. Con relación a la formación conceptual del concepto de campo eléctrico generado por una carga eléctrica, “los estudiantes asocian la existencia de campo eléctrico en un punto a la presencia de carga en dicho punto y no lo entienden como una propiedad intrínseca de la carga fuente”. Dado que la transformación conceptual ocurre por la puesta a prueba, de manera consciente y recursivamente, de los modelos mentales construidos por los estudiantes, es que estos autores sugieren que son los estudiantes los que deben *participar activamente en este proceso de superación, ya que no basta con decirles cuál es el camino correcto o la solución a una situación física determinada.*

El uso de Internet a través de WebQuest (WQ) va más allá de una simple búsqueda de información para encontrar una respuesta a una pregunta inicial. Es habitual que los estudiantes al “sumergirse” en internet comienzan a “navegar” en internet, teniendo un objetivo bastante claro. Pero esta “claridad” se va desvaneciendo en la medida que el sistema les va entregando diversas posibilidades. Por lo tanto, se tiene la tendencia de no alcanzar el objetivo de la búsqueda, al confundirse entre el cúmulo de informaciones (GOMES; LEÃO, 2012). La WQ es una de las estrategias didácticas más populares entre los docentes para integrar los recursos que ofrece la internet en el curriculum (ADELL, 2004). Es una de las herramientas multimedia mayormente utilizadas en el proceso constructivista de enseñanza-aprendizaje. Se puede definir como un recurso didáctico utilizado por docentes para el desarrollo de competencias y habilidades en los alumnos⁴. Entre las competencias que se pueden mencionar, destacan que manifiestan mejor disposición al autoaprendizaje, se comprometen con las tareas asignadas y con los plazos establecidos, favorece el aprendizaje cooperativo, negocian significados con sus pares y con su profesor (BARBA, 2002; CORNUZ, 2011; ALBORCH; PUZELLA; DEMARTINI; LÓPEZ, 2007; BETANCOURT; PERDOMO, 2008; SILVA; LÓPEZ DONOSO, 2009; VÁZQUEZ; JIMÉNEZ, 2006). Favorece la “disposición hacia el aprendizaje”, que es una condición necesaria para facilitar el aprendizaje significativo (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983; MOREIRA, 2003; LÓPEZ DONOSO; CASTILLO; VÉLIZ, 2008). También demuestran más entusiasmo al resolver situaciones problemáticas, la estrategia los compromete con una “lectura comprensiva y crítica, a la vez que los obliga a utilizar un lenguaje apropiado para la comunicación de los resultados en forma escrita y oral, los contenidos conceptuales adquieren significación e interés debido a la contextualización” (SILVA; CAUTIVO; LÓPEZ DONOSO, 2010).

La WQ es un software que construye, en este caso, el profesor, consciente del estado cognitivo de sus estudiantes y de los elementos subsunores que utilizará para favorecer la construcción de aprendizaje significativo en sus estudiantes. Contiene una “Introducción” referida al tema a estudiar; “la tarea” que especifica en qué consiste el trabajo, “los procesos” o pasos que se deben seguir para el cumplimiento de la tarea; “los recursos” que representan los sitios en Internet o links donde los estudiantes pueden encontrar las respuestas a los objetivos planteados en la WQ, que elige el profesor, buscando anclar las concepciones alternativas de sus estudiantes con la información de la física, pertinente; “la evaluación”, que permite a los estudiantes autoevaluarse y “las conclusiones” de la tarea encomendada, que redacta el estudiante, negociando significados con sus compañeros de equipo y con su profesor.

En este trabajo de investigación experimental de corte cuantitativo y cualitativo se pretende dar respuesta a las siguientes preguntas: (a) ¿cuáles son los modelos mentales iniciales que poseen los estudiantes investigados sobre los conceptos de fuerza electrostática y

⁴ Su sitio web oficial en español es <<http://www.webquest.org>>.

campo eléctrico? y si ¿es posible, mediante la utilización de la metodología Webquest (WQ), transformar los modelos mentales iniciales “alternativos”, en modelos mentales efectivos y acordes con las representaciones de las leyes físicas del Electromagnetismo? Para evaluar los modelos mentales al inicio y al final de la metodología didáctica, se utiliza como instrumento de evaluación un cuestionario a modo de pretest y postest (anexo A). Los estudiantes investigados son estudiantes de la carrera de Ingeniería informática de la Universidad.

II. Marco teórico

Los "modelos mentales" son hoy por hoy el principal constructo que dirige y orienta el análisis, el estudio y la investigación de las representaciones mentales y su papel en los mecanismos de procesamiento de la información. Es un constructo al que se llega después de una dilatada historia de investigación educativa, que tiene su origen en el reconocimiento explícito que Ausubel *et al.* (1983) hacen de la importancia que tiene el conocimiento previo en los en el proceso de aprendizaje y, por ende, en el proceso de enseñanza (RODRÍGUEZ; MARRERO; MOREIRA, 2001).

La deducción es el modo de razonar que las personas utilizan para explicar y examinar el estado de las cosas o la validez de una premisa. Datos experimentales en psicología cognitiva sugieren que las personas razonan y resuelven problemas mediante el procesamiento de representaciones mentales o representaciones internas. La teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird (1983) ha demostrado ser sumamente poderosa para predecir y explicar los procesos cognitivos superiores en las personas. Esta teoría postula que cuando las personas razonan tratan de compatibilizar sus premisas con sus propios conocimientos sobre el estado de las cosas. Según la clasificación realizada por Moreira (2013) sobre las principales corrientes psicológicas que han influido en la enseñanza y en el aprendizaje en las últimas décadas, la teoría de los modelos mentales se encontraría en una corriente de tipo “representacionalista”, en donde el énfasis se coloca en la representación que las personas tienen acerca del mundo y de los fenómenos que ocurren en él y con él.

La teoría de los modelos mentales ofrece un marco teórico amplio para describir los procesos cognitivos vinculados al aprendizaje de las ciencias. En el texto “Mental Model”, Johnson-Laird (1983) sostiene que

la explicación depende, sin lugar a dudas, del entendimiento: si tú no entiendes algo, entonces no puedes explicarlo. El entendimiento, por cierto, depende de nuestros conocimientos y de nuestras creencias. Si tú conoces las causas de un fenómeno, qué resulta de él, cómo influye, qué lo controla, qué lo inicia y cómo prevenirlo, así cómo se relaciona con otros estados o en qué asemeja a otros fenómenos similares, cómo predecir su inicio y desarrollo, cómo es su estructura interna, entonces comprenderás dicho fenómeno. En términos psicológicos asumiré que entonces tú tienes un modelo de trabajo del fenómeno en tu mente (Ibid.).

La construcción de modelos mentales es un rasgo general y estructural del pensamiento, sin el cual no podríamos razonar ni interpretar el mundo. El razonamiento, fundamentado a través de este cuerpo teórico, no tiene un soporte únicamente lógico, sino que también analógico, dado que los modelos que las personas construyen en su mente son análogos estructurales del mundo y de lo que representan (ibid.). Se trata de una teoría constructivista en sentido amplio, no sólo por reconocer la actividad del sujeto en la construcción de sus modelos mentales, sino por otorgar un papel estructurante a la realidad que los modelos representan. Es decir, que de algún modo lo real, en cada persona, está presente en el modelo construido, al establecer su carácter analógico. Esta característica devuelve al ámbito de las posiciones cognitivas al objeto que está siendo conocido, al mismo tiempo que como constructor de representaciones mentales internas le otorga un papel decisivo al sujeto (OTERO, 1999).

Los modelos mentales pueden ser construidos no sólo a partir de la percepción, sino también a través de la imaginación o a través de la comprensión de un discurso y ellos pueden ser abstractos o visibles. Los modelos mentales pueden ser construidos a partir de situaciones reales, imaginarias o hipotéticas y la mente elabora modelos, en principio a pequeña escala, de la realidad y los utiliza para anticipar o prever nuevas situaciones, para razonar o para fundamentar sus explicaciones. Una simulación mental de un modelo mental se puede “echar a andar” para sacar conclusiones sin embargo, esta simulación es algo diferente de la noción de modelo mental, porque una imagen es considerada como una representación que se activa para reconstruir una escena (ibid.).

Cada profesor debería comprender la eficacia o ineficacia de los modelos mentales que construyen sus alumnos para planificar su enseñanza hacia una modelización efectiva en cada entorno de aprendizaje. El manejo de un modelo mental efectivo proporciona una estrategia, también efectiva, para la inferencia y permite que los estudiantes cumplan con decisión las tareas encomendadas, lo que les facilita el meta-razonamiento. Por otro lado, Johnson-Laird (1983) sostiene que es mucho más fácil razonar con un solo modelo mental que con múltiples modelos mentales, ante una situación o fenómeno particular. Y que este modelo único, probado recursivamente en diferentes situaciones por los estudiantes, finalmente se vuelve tácito y semi-permanente en su memoria de largo plazo.

Como no aprehendemos la realidad en forma directa sino que poseemos una representación interiorizada de ella, las representaciones proposicionales se evaluarán como verdaderas o falsas con relación a un modelo mental del mundo. Además los modelos permiten representar un número infinito de estados posibles de un suceso, porque se ejecutan recursivamente, este poder representacional se realiza con una gran economía para el sistema a partir de un número finito de elementos y de operaciones sobre esos elementos. Los modelos tienen la propiedad de representar la generalidad a partir de valores particulares que reúnen todas las relaciones de lo representado (OTERO, 1999).

La construcción de modelos mentales se relaciona con las ideas previas que tienen los estudiantes, el cómo ponen a prueba su modelo frente a nuevas situaciones, y el aprobarlo depende de que si éste da o no respuesta al fenómeno que se desarrolla y/o plantea resolver. Este modelo podría ser diferente al modelo científico que da la explicación actual a la realidad. Por lo tanto, la tarea del profesorado es promover actividades que provoquen que el modelo mental de los estudiantes se acerque al científico. Si así ocurre diremos que el estudiante avanza en su aprendizaje (GRECA; MOREIRA, 1998; GUTIÉRREZ, 2005).

En este sentido existiría una complementariedad entre la teoría de los modelos mentales y la teoría socio-histórica de Vygotsky, dado que para este último los procesos psicológicos superiores (PPS) de las personas se originan en la vida social, en la participación del sujeto en actividades compartidas con otros.

El desarrollo cognitivo de las personas es concebido como un proceso, culturalmente organizado, en el que el aprendizaje, en contextos de enseñanza, será un momento interno (intrapicológico) y “necesario”. La acción educativa corresponde también a la crianza, pero parece poseer una especificidad crucial en la enseñanza escolar, en las situaciones sociales específicas en las que el sujeto participa. Los PPS son específicamente humanos, histórica y socialmente construidos, son producto de su “línea de desarrollo cultural” y su constitución es, en cierta medida, *contingente* (BARQUERO, 2001). De tal modo que una metodología de enseñanza que promueva la revisión recursiva de los modelos mentales que construyan los estudiantes debe propender al diseño de actividades que faciliten la interacción social entre las personas, los estudiantes entre sí, así como los estudiantes y sus profesores, en torno a la discusión y análisis del material educativo de su currículo.

Por último, la teoría de aprendizaje significativo aborda el problema del aprendizaje de los estudiantes. Explica cómo el profesor debe actuar frente a un cuerpo organizado de conocimientos para lograr que sus estudiantes aprendan significativamente. Sostiene que el aprendizaje ocurre cuando se relaciona un nuevo conocimiento o información con la estructura cognitiva del que aprende de forma interactiva, no arbitraria ni sustantiva o no literal (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983; MOREIRA, 1993, 1997A, 2000, 2003; POZO, 1989; RODRÍGUEZ, 2004). Sugiere, a grandes rasgos, que antes de preparar un tema de instrucción, los educadores deben tener en cuenta la estructura cognitiva de sus aprendices. El educador debe averiguar la organización conceptual existente en la mente del estudiante con relación a un determinado tema, para relacionar los conceptos que el alumno tiene asimilados con los nuevos conceptos, a través de una organización previa que favorezca que el estudiante logre vincular lo que ya sabe con la nueva información. De esta forma el estudiante modificará, transformará y/o construirá una organización conceptual personal, que tenga para él, sentido y plausibilidad. Esta plausibilidad será indicativo, de aceptación y de esta manera la nueva información encajará en la estructura cognitiva del estudiante de manera significativa, bajo la orientación del docente durante el proceso didáctico para que, a través de la negociación de significados, se tienda a los significados científicos aceptables.

En síntesis, el educador puede y debe organizar los temas a enseñar, incluidos en el currículo, de manera eficiente, entendiendo por esto, que debe conocer los elementos del currículo que son resistentes al aprendizaje.

III. Metodología

Se realiza una investigación experimental con una intervención intencionada en la cual se utiliza la metodología WQ para verificar e inferir sobre los modelos mentales de los estudiantes, antes de la aplicación de la metodología didáctica y después de ésta. Se realiza un estudio cuantitativo a través del análisis de las respuestas a un cuestionario (anexo A), tomado como instrumento, que es respondido por los estudiantes como pre y postest, para comparar mediante sus puntajes los avances de ellos; y de corte cualitativo, al interpretar e inferir sobre la transformación de los modelos mentales de los estudiantes, a través de las respuestas en el cuestionario y las notas registradas en las observaciones de campo así como las entrevistas realizadas a los alumnos al término de la asignatura.

La muestra está formada por los alumnos de Ingeniería Informática que cursan Electromagnetismo durante el primer semestre del año 2011.

El estudio compara los modelos mentales de los estudiantes en dos momentos: un momento inicial, antes de la intervención didáctica con la metodología WQ y un momento posterior, después de la aplicación de la metodología. Así, las variables a medir son: la metodología didáctica con la aplicación de la WQ a los estudiantes, como variable independiente y los modelos mentales de los estudiantes sobre los conceptos de fuerza, campo eléctrico y flujo eléctrico, como variables dependientes.

El instrumento o cuestionario consta de 11 ítems, de los cuales los ítems 1, 2, 5 y 11 permiten inferir sobre los modelos mentales de los alumnos, relativos al concepto de fuerza electrostática; los ítems 3a, 3b, 3c, 4, 6 y 7 sobre campo eléctrico y los ítems 8, 9 y 10 sobre el concepto de flujo eléctrico. El puntaje total asignado al cuestionario son 13 puntos, dado que el ítem nº 3 contiene los sub-ítems 3a, 3b y 3c. El test o cuestionario fue validado internamente a través de juicio de expertos y externamente al aplicarlo a un grupo de estudiantes de Pedagogía en Física. Es respondido, inicialmente, por 21 alumnos (pretest) y al final de la intervención didáctica, por 26 alumnos (postest). Entre los alumnos que responden el postest se incluyen los 21 alumnos que contestaron el pretest y se agregan 5 más que se inscriben posteriormente en el curso.

El pre y postest se ha construido tomando como fuente el cuestionario propuesto por Bohigas y Periago (2010), en una experiencia similar con estudiantes españoles. Los datos se procesan a través del software estadístico SPSS. La confiabilidad de los resultados se mide a través de la prueba t de student y se corrobora con la prueba U de Mann-Whitney.

III.1 Diseño

En primer lugar se procede a examinar los modelos mentales alternativos de los alumnos a través del pre-test o cuestionario. Ellos lo responden al inicio de la asignatura, en el primer encuentro con su profesor. Se les informa que el test permitirá al profesor conocer el estado de sus conocimientos sobre electrostática, tema que constituye la primera unidad de estudio del programa del curso.

Considerando las respuestas de los estudiantes en el pre-test, se diseñan dos WQ para trabajar con ellos. La WQ 1, denominada “Fuerza eléctrica” plantea como objetivos: identificar y/o distinguir la magnitud y dirección de la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales diferentes y aplicar la Ley de Coulomb en la resolución de problemas de lápiz y papel. La segunda WQ o WQ2, denominada “campo eléctrico” persigue distinguir y dibujar el campo eléctrico en las cercanías de una o más cargas puntuales, inferir sobre la intensidad del campo eléctrico y por último, interpretar y evaluar la magnitud del flujo eléctrico generado por una o más cargas puntuales, examinando sus líneas de campo. También en este caso se proponen situaciones problemáticas para resolver con lápiz y papel.

Las dos WQ se trabajan y desarrollan por los estudiantes, con sus propios equipos de computación en grupos de tres personas a través de la metodología de aprendizaje cooperativo, “Learning together” (JOHNSON; JOHNSON, 1987,1990) y con la colaboración de dos ayudantes. Durante las sesiones de taller los grupos de estudiantes discuten, consultan, visitan los sitios de internet sugeridos para responder las tareas de cada WQ. Además desarrollan con los ayudantes, talleres de resolución de problemas con la metodología TACS (LÓPEZ DONOSO, 2011, p.162), como parte de la “tarea” en cada WQ. Un tercer ayudante se encuentra en la sala de clases registrando notas de campo relacionadas con el desarrollo de la actividad. Toda esta actividad tiene una duración de cuatro semanas, durante las cuales el profesor de la asignatura realiza sus clases con una metodología tradicional, es decir dicta las clases de manera frontal, expositiva y al término de cada unidad evalúa a través de una prueba de resolución de problemas de lápiz y papel. En forma independiente, en un horario adicional, los ayudantes plantean las WQ construidas por ellos como parte de la metodología de su propia actividad. El profesor no interviene en la actividad de los ayudantes con el grupo curso.

Al término de la 1ª unidad de la asignatura (que contempla tres unidades), los estudiantes entregan “las tareas” de cada WQ y rinden el postest que se incluye a la 1ª prueba oficial. Es decir, la 1ª prueba oficial contempla la resolución de cuatro problemas del nivel de un curso universitario de ingeniería más el postest, que es exactamente igual al pretest del primer día de clases. Este postest se rinde un mes después del inicio de clases formales.

Finalmente se entrevistan a tres alumnos, elegidos, entre aquellos que efectivamente han transformado sus modelos mentales alternativos o se encuentran en proceso de transformación, para registrar sus impresiones al presentarles sus propias respuestas antes y después de las intervenciones con las WQ. Son entrevistas semi-estructuradas que persiguen comprender la forma en que ocurren estas transformaciones.

IV. Resultados

Considerando las respuestas contestadas correctamente se ha obtenido en el pretest un promedio de 3,95 puntos, equivalente a un 29,6% del total del puntaje y en el postest 9,38 puntos en promedio, equivalente a un 70,4% del total del puntaje (ver Fig. 1). Estos resultados generales indican que ha habido un progreso relacionado con los conceptos de fuerza eléctrica y campo eléctrico.

IV.1 Validación del instrumento

El instrumento definitivo que se utiliza para el pretest y postest (anexo A) considera las observaciones extraídas tanto de las validaciones interna y externa. La validación interna se realiza a través de “juicios de expertos”. El test se modifica según las observaciones recibidas y se procede a una validación externa. En este último caso se considera una muestra piloto de estudiantes de pedagogía en física, quienes responden el test. Durante este proceso se toma nota sobre las consultas que ellos realizan relacionadas con la comprensión de cada ítem así como el tiempo que ocupan en sus respuestas.

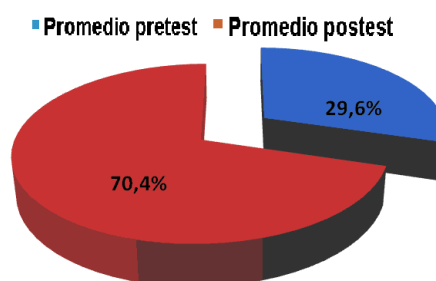


Fig. 1 – El 29,6% de los estudiantes contestan acertadamente el pretest y el 70,4%, el postest.

IV.2 Confiabilidad de los resultados

Para establecer el grado de confiabilidad de los resultados que se observan en la Fig. 1 se utiliza la t de student para muestras independientes. Si bien es cierto que el grupo de estudiantes es prácticamente el mismo, sus condiciones de entrada, valorizadas a través del pretest, y de salida, valorizadas a través del postest, son diferentes, dado que el grupo ha sido sometido a una intervención a través de los WQ.

Por cierto que para aplicar la t de student los datos deben distribuirse en una curva normal. En la Fig. 2, a) y b) se muestran los histogramas correspondientes al pre y postest. A pesar de ello el valor de t obtenido para igualdad de medias, con estadístico SPSS, es 10,692, fuera del intervalo $-1,67 \leq t \leq 1,67$, rechazándose la hipótesis nula para esta prueba. Por lo tanto el pre y postest muestran diferencias importantes atribuidas a la intervención o propuesta con las WQ.

Como los histogramas no muestran con claridad la normalidad de las curvas se ha aplicado, además, la estadística no paramétrica para muestras independientes o prueba U de Mann-Whitney. En este caso el valor de z obtenido es -5,713, que queda fuera del intervalo $-1,96 \leq z \leq 1,96$ para muestras $N \geq 20$, lo que reafirma la aseveración que existen diferencias importantes entre el pre y postest.

A pesar que la t de student así como la prueba U de Mann-Whitney, revelan que el progreso se debe a la metodología usada, estos resultados cuantitativos no nos indican cómo ha sido la transformación de los modelos mentales de los estudiantes investigados. Para conocer y analizar esta transformación, se relatarán y analizarán las respuestas correspondientes a cada ítem del cuestionario. En primer lugar se presentan y discuten los resultados correspondientes a la formación conceptual relativa a la fuerza eléctrica (preguntas 1, 2, 5 y 11), después las relativas a campo eléctrico (preguntas 3, 4, 6 y 7) y por último, las preguntas relacionadas con flujo eléctrico (preguntas 8, 9 y 10).

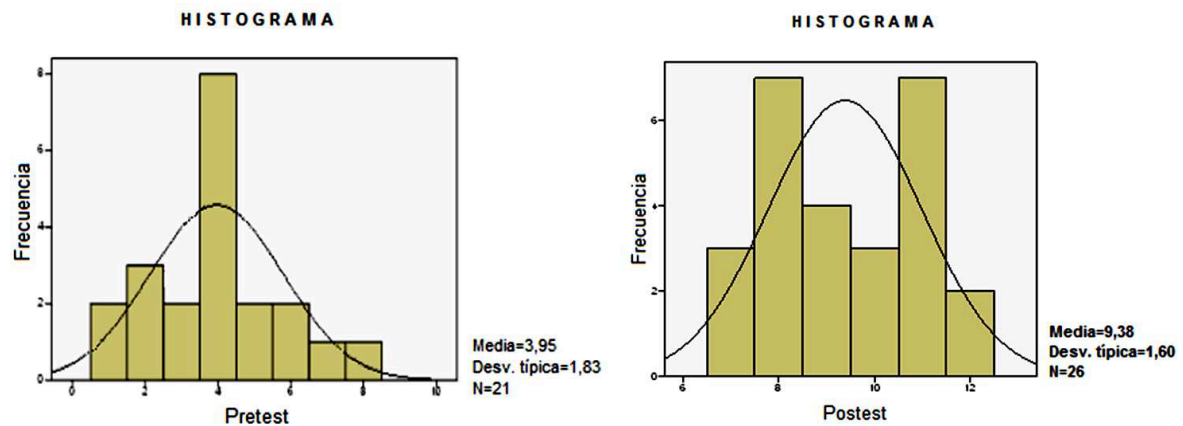


Fig. 2 – a) histograma correspondiente al pretest y b) histograma correspondiente al postest.

IV.3 Discusión relativa a la formación del concepto de fuerza eléctrica

Los porcentajes de alumnos que contestan cada alternativa están referidos al porcentaje de estudiantes que efectivamente responden el pre y postest (ver gráfico y tabla 1).

Ante esta pregunta se puede apreciar que sin lugar a dudas, los estudiantes responden que la fuerza eléctrica entre los cuerpos cargados afecta a ambos cuerpos, dado que ningún estudiante responde que la fuerza eléctrica incide sobre un solo cuerpo (respuesta f), lo que deja de manifiesto que la estructura cognitiva de los estudiantes ha asimilado que una fuerza eléctrica es una interacción entre dos cuerpos cargados. A pesar de lo anterior se observa que inicialmente el 38,1% de los estudiantes que contestan el cuestionario, es decir 8 de 21 estudiantes, cree que el cuerpo más cargado ejerce una fuerza eléctrica de mayor intensidad sobre el objeto con menor carga eléctrica (respuesta c) y después de la intervención didáctica, el 23,1%, es decir 6 de 26 estudiantes, continúa con ese modelo mental de la interacción eléctrica entre dos cuerpos cargados. Estas respuestas dejan de manifiesto que los modelos mentales de estos alumnos no concuerdan con la ley de acción y reacción correspondiente a la interacción entre dos cuerpos. Más bien existe en estos estudiantes un modelo mental que se asocia con la percepción de que el cuerpo más cargado tendría una capacidad de ejercer una fuerza eléctrica mayor sobre el menos cargado, dado que aceptaría en él una condición de debilidad, asociándolo con la percepción sensorial de “más cargado es

más fuerte que el menos cargado”. Por cierto que el modelo mental que representaría a la respuesta correcta corresponde a la alternativa e, que solo es contestada inicialmente por el 9,5% de los estudiantes, es decir 2 de 21 alumnos y al final de la intervención didáctica por el 61,5% de los estudiantes, es decir 16 de 26 estudiantes. A pesar que existiría una transformación en los modelos mentales de un porcentaje importante de estudiantes, llama la atención que el 15,4% de los estudiantes, es decir 4 de 26 alumnos, siguen pensando que la fuerza eléctrica en el cuerpo con mayor carga eléctrica es de mayor intensidad.

En la pregunta 2, nuevamente el objetivo es averiguar cómo los estudiantes conceptualizan la ley de Coulomb, en una situación algo distinta que en la planteada en la pregunta 1. En esta pregunta, se muestran dos esferas de igual masa, pero una con el doble de carga eléctrica que la otra, colgadas por hilos flexibles de masas despreciables, motivo por el cual la repulsión electrostática hace que las esferas se separen. La diferencia con la pregunta 1 es que ahora las esferas no están fijas, sino que tienen la posibilidad de desplazarse por la magnitud de la fuerza eléctrica entre ellas. Las respuestas de los alumnos, se encuentran en el gráfico y tabla 2. Se aprecia que los estudiantes que contestan correctamente son 2 de 21 (9,5%), mientras que en el pos test son 12 de 26 (46,2%), lo que refleja una transformación de los modelos mentales de estos estudiantes. Aun así, una parte importante de los alumnos siguen con un modelo mental errado: en 13 de 26 (50%) el modelo mental es parecido al de la pregunta anterior, manteniendo la percepción de que la carga eléctrica mayor ejerce una fuerza eléctrica de mayor intensidad sobre la de menor carga eléctrica; mientras que 1 alumno de 26 (3,8%), al marcar la alternativa “a”, considera sobre la carga mayor actúa una fuerza mayor. Esto pone en evidencia que el 53.8% del curso no aplica correctamente la Ley de Coulomb en la situación planteada.

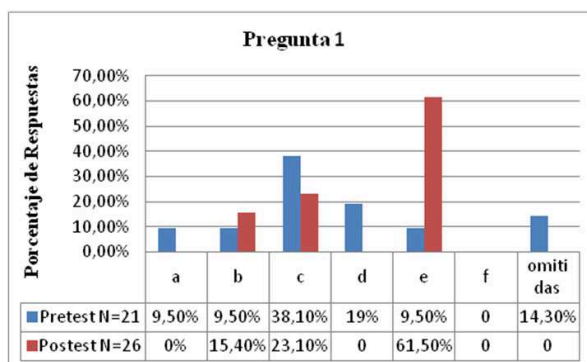


Gráfico y tabla 1 – Respuestas de los estudiantes correspondientes a la pregunta 1, cuya respuesta correcta es la alternativa “e”. Se muestran los resultados obtenidos en el pre y pos-test.

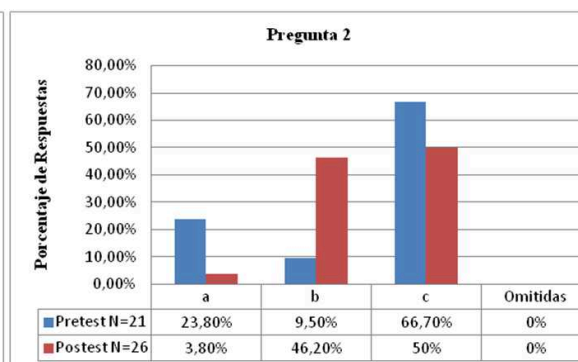


Gráfico y tabla 2 – Respuestas de los estudiantes correspondientes a la pregunta 2, cuya respuesta correcta es la alternativa “b”. Se muestran los resultados obtenidos en el Pre y Pos-test.

En la pregunta 5 la figura que se presenta en el test hace referencia a una situación en que se enfrentan dos cargas eléctricas puntuales, y una de ellas tiene mayor carga que la otra, $Q' > Q$. No dice que las cargas estén en reposo, como en la pregunta 1, ni tampoco, que se pueden desplazar como en la pregunta 2. Se pregunta directamente sobre la magnitud de la fuerza eléctrica sobre cada carga. Las respuestas se encuentran en el gráfico y tabla 3. Se aprecia que los estudiantes que responden correctamente son 2 de 21 (9,5%) en el pretest y 16 de 26 (61,5%) en el postest. Y aquéllos que insisten en que la partícula con mayor carga eléctrica ejerce una mayor fuerza sobre la de menor carga eléctrica, son 13 de 21 (61,9%) en el pretest y 10 de 26 (38,5%) en el postest. Destaca en estas respuestas, que los estudiantes contestan solo las dos opciones señaladas con las letras b) y c), en el postest,

Es interesante analizar la situación que se presenta en la pregunta 11, en la que se expone una situación de equilibrio mecánico de una partícula cargada que cuelga de un péndulo simple enfrentada a otra de igual masa, pero de carga eléctrica opuesta. Las respuestas a esta pregunta se encuentran en el gráfico y tabla 4. Destaca el n° de alumnos que contestan la alternativa correcta, “b”, 14 de 21 (66,7%) en el pretest y 23 de 26 (88,5%) en el postest. Por cierto que en esta pregunta se presenta una situación que facilita la respuesta, dado que al estar una carga en equilibrio estático la fuerza eléctrica entre ambas necesariamente debe ser atractiva.

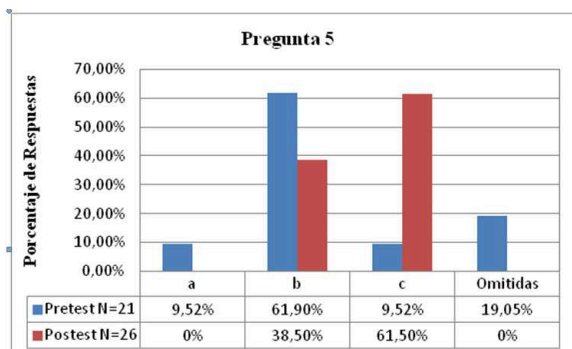


Gráfico y tabla 3 – Respuestas de los estudiantes correspondientes a la pregunta 5, cuya respuesta correcta es la alternativa “c”. Se muestran los resultados obtenidos en el Pre y Post-test.

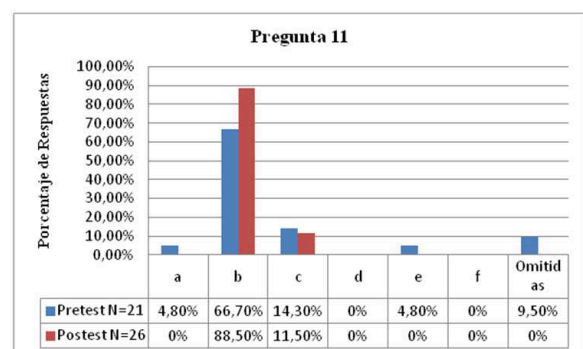


Gráfico y tabla 4 – Se muestran los resultados de la pregunta 11 cuya respuesta correcta es la alternativa “b”. Se muestran los resultados obtenidos en el Pre y Post-test.

De los resultados anteriores se puede inferir:

- Que las respuestas de los estudiantes dependen de la situación presentada, dado que no se observa correlación significativa (coeficiente de correlación de Pearson: 0,18) entre las respuestas dadas a las cuatro preguntas señaladas. Estos resultados representan el hecho de que para responder acuden a modelos mentales diferentes y no coincidentes entre sí. Para triangular esta inferencia se entrevista a Eduardo dado que él es una de las personas que en la

pregunta 11, contesta “e” en el pretest y luego correctamente “b” en el postest. Y en la pregunta 1 contesta “c” en el pretest y después correctamente “e” en el postest.

- Que en las situaciones abstractas que incluyen cargas puntuales, al parecer los estudiantes responden memorísticamente sin hacer uso de algún modelo mental.

- Es importante el nº de alumnos que no acepta la ley de acción y reacción cuando se enfrentan dos cargas eléctricas diferentes. La preconcepción alternativa: *una carga eléctrica mayor ejerce una fuerza eléctrica de mayor intensidad sobre otra con menor carga eléctrica* se mantiene en un número importante de estudiantes (leer entrevista a Eduardo, en IV.4).

IV.4 Discusión relativa a la formación del concepto de campo eléctrico

Las preguntas relacionadas con el concepto de campo eléctrico son las preguntas 3, 4, 6 y 7.

La pregunta 3 presenta tres situaciones, en las cuales el alumno debe dibujar el vector campo eléctrico generado por una carga puntual Q , en un punto A que se encuentra en las cercanías de ella. En la pregunta 3a, se coloca en A una carga puntual q positiva; en la segunda situación, pregunta 3b, se coloca en A una carga puntual negativa y por último en la pregunta 3c se dice que en A no se coloca ninguna carga. Por cierto que este campo eléctrico es generado por la carga Q y es independiente de la carga puntual que se coloque en A .

En cada uno de los tres casos el campo eléctrico se representa por un vector con dirección radial o “saliente”, en el plano de la figura. La presencia o ausencia de la carga “ q ” solo pretende que los alumnos revisen, en forma consciente, sus modelos mentales antes de decidir el dibujo que entregará como respuesta. Con este fin las respuestas de los estudiantes se han clasificado como “campo eléctrico saliente” para referirse a un campo eléctrico cuya dirección se aleja radialmente de la carga Q ; “campo eléctrico entrante” para referirse a un campo eléctrico cuya dirección apunta radialmente hacia Q y “otra dirección” para referirse a cualquier otra dirección no contemplada u omisión de la respuesta.

El gráfico y la tabla 5 muestran las respuestas entregadas por los estudiantes antes de la intervención didáctica y después de ella. Se puede apreciar que los modelos mentales de los alumnos antes de la intervención didáctica no son coincidentes con la dirección definida para el campo eléctrico debido a una carga puntual Q . sin embargo la respuesta para la pregunta 3a permite creer que el modelo mental para la dirección del campo eléctrico se transforma correctamente en el postest.

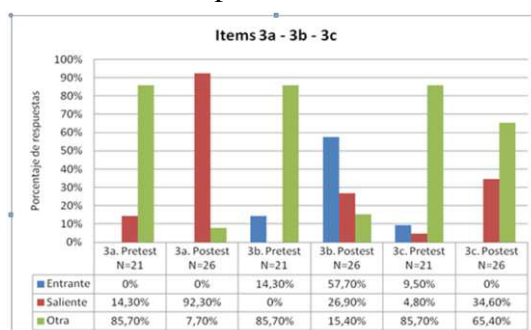


Gráfico y tabla 5 – Respuestas de los estudiantes correspondientes a las pregunta 3a), 3b), 3c), cuya respuesta correcta es la alternativa “saliente”, en los tres casos. Se muestran los resultados obtenidos en el pre y postest.

A pesar de lo anterior, las respuestas correspondientes al ítem 3b y 3c desestabilizan la creencia anterior, ya que siendo la respuesta correcta en todos los casos, de tipo “saliente”, solo es contestada en la pregunta 3b por el 0,0% (ningún alumno) en el pretest y 26,9% (7 alumnos) en el postest y en la pregunta 3c el 4,8% (1 alumno) en el pre test y el 34,9% (9 alumnos) en el postest. El mayor cambio ocurre al colocar una carga negativa $-q$ en el punto A, ya que si bien es cierto el 14,3% (3 alumnos) creen que el campo eléctrico está representado por un vector entrante, después un 57,7% (15 alumnos) dibuja esta opción. Acá queda en evidencia que este porcentaje de alumnos no logra construir un modelo mental efectivo y concordante con lo definido físicamente. Al parecer existe en los estudiantes una confusión entre el campo eléctrico creado por una carga y la fuerza de atracción eléctrica entre dos cargas. Reafirma esta inferencia las respuestas dadas en la pregunta 3c, dado que en esta alternativa el 85,7% (18 alumnos) no responde en el pretest (omite su respuesta) y posteriormente, el 65,4% (17 alumnos). Es decir que solo un 20,3% de los alumnos investigados, son los que transforman su modelo mental alternativo hacia un modelo mental coincidente con la definición física de campo eléctrico.

A continuación, en la Fig. 3, se presenta un esquema correcto y uno alternativo. Este esquema alternativo indica que los estudiantes asocian el campo eléctrico a la existencia de cargas en él ($+q$ y $-q$) y no lo entienden como una propiedad intrínseca de la carga eléctrica fuente (Q), es decir, trasladan las propiedades de la fuerza electrostática entre cargas al concepto de campo eléctrico. Esta situación debe hacer-nos reflexionar sobre la enseñanza que que impartimos los profesores, dado que al definir nos valemos de una “carga de prueba positiva” que se coloca en el lugar en que pretendemos medir el campo (punto A de la figura 2) y definimos el campo eléctrico como la fuerza eléctrica sobre la carga de prueba y dividida por la carga de prueba. Tal vez la presencia de una carga de prueba colocada en A es confundida con la carga de prueba positiva, de la definición de campo eléctrico.

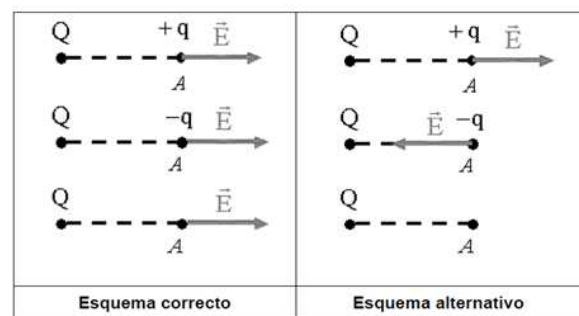


Fig. 3 – Comparación entre esquema correcto y alternativo.

En el caso de la pregunta 4 (gráfico y tabla 6), el campo eléctrico E ‘creado por Q ’ en A es mayor en magnitud que el campo eléctrico E creado por Q en B, de modo que la respuesta correcta a la pregunta es la alternativa b). Es que aquí coincide la percepción y el modelo de que a mayor carga eléctrica, mayor es la magnitud del campo eléctrico generado.

La representación del campo eléctrico a través de las líneas de campo queda mejor asimilada en el postest, con un 92,3% de aciertos, 24 de 26 alumnos, en las respuestas de la pregunta 6 (gráfico y tabla 7) y la pregunta 7, que también requiere una asimilación de las líneas de campo, es contestada acertadamente por el 84,6% o 22 de 26 alumnos, en el postest.

¿cuál será la razón para que en el pretest haya un 57,1% (12 als.) que piensen que entre las cargas eléctricas el campo eléctrico se intensifica, cuando en realidad el campo eléctrico es nulo en B?. Quizás la respuesta se encuentre en las ideas de Velazco (1998), al sostener que *algunos (alumnos) conciben...el campo eléctrico como una sustancia...* Para triangular estas aseveraciones se entrevista a Felipe, ya que él representa una de las personas que en la pregunta 7 contesta erradamente b), en el pretest y posteriormente, en el postest, contesta satisfactoriamente la letra c). La idea es averiguar ¿por qué o qué hizo cambiar su conceptualización?

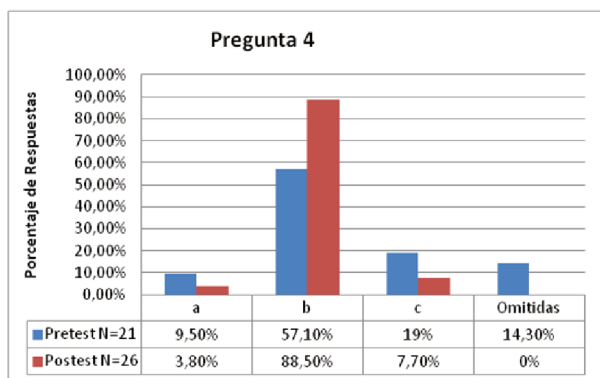


Gráfico y tabla 6 – Respuestas de los estudiantes correspondientes a la pregunta 4, cuya respuesta correcta es la alternativa “b”.

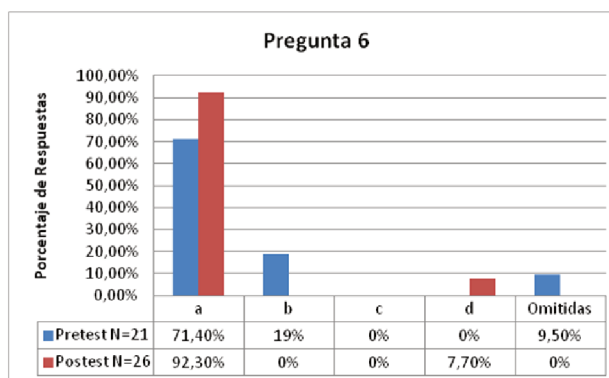


Gráfico y tabla 7 – Respuestas de los estudiantes correspondientes a la pregunta 6, cuya respuesta correcta es la alternativa “a”. Se muestran los resultados obtenidos en el Pre y Post-test.

De los resultados anteriores se puede inferir:

- Que en la construcción del concepto de campo eléctrico habría una confusión entre fuerza eléctrica y campo eléctrico.
- Que no se asume la presencia de campo eléctrico en las cercanías de un cuerpo cargado si no hay en este entorno una carga eléctrica.
- Que la representación de las líneas de fuerza ayudaría efectivamente a discernir sobre la intensidad del campo eléctrico en los estudiantes.

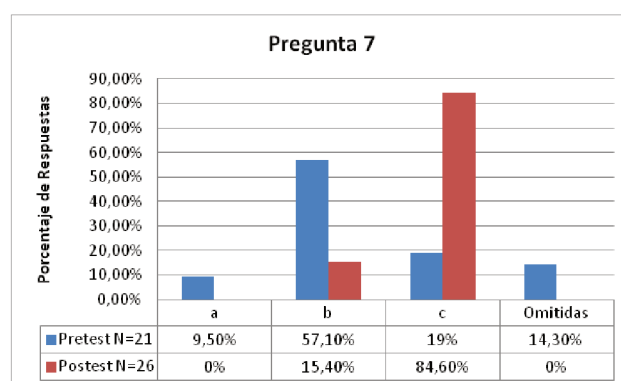


Gráfico y tabla 8 – Respuestas de los estudiantes correspondientes a la pregunta 7, cuya respuesta correcta es la alternativa “c”. Se muestran los resultados obtenidos en el Pre y Post-test.

Para triangular estas inferencias y tener una evidencia relatada, se entrevista a Felipe. Este estudiante es uno de los casos en que no logra transformar sus modelos de campo eléctrico.

IV.5 Discusión relativa a la formación del concepto de flujo eléctrico

Las preguntas relacionadas con el concepto de flujo eléctrico son las numeradas como 8, 9 y 10.

Dado que flujo eléctrico es directamente proporcional a la magnitud de la carga encerrada por una superficie cerrada imaginaria o superficie gaussiana, entonces solo la alternativa a de la pregunta 8 (ver gráfico y tabla 9) proporciona la respuesta correcta a esta pregunta. En las alternativas b y c el flujo eléctrico neto es nulo ya que las superficies gaussianas no encierran cargas eléctricas. Como se puede apreciar en las respuestas dadas por los estudiantes. Existiría, entonces, un cambio importante entre las respuestas dadas por los estudiantes en el pre y postest. Solo el 15,4% (4 de 26 als.) no logra transformar sus modelos iniciales.

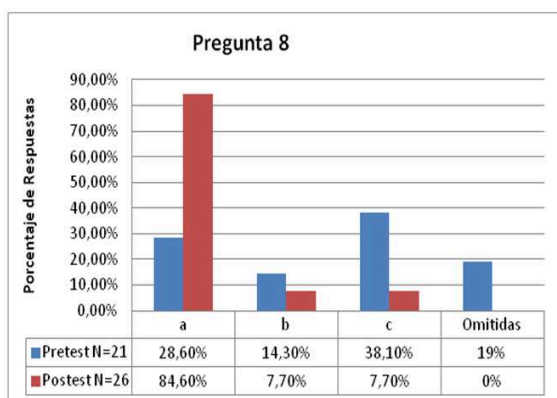


Gráfico y tabla 9 – Respuestas de los estudiantes correspondientes a la pregunta 8, cuya respuesta correcta es la alternativa “a”. Se muestran los resultados obtenidos en el Pre y Post-test.

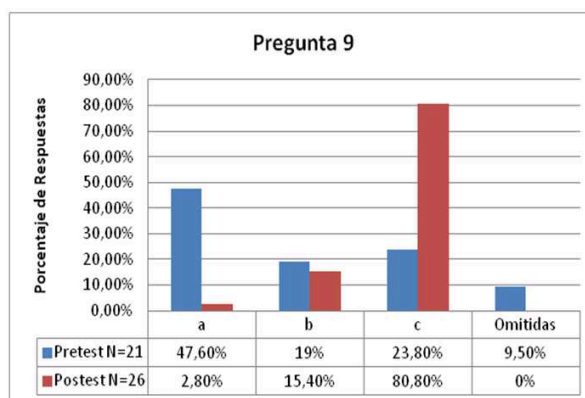


Gráfico y tabla 10 – Se muestra los resultados de la pregunta 9 la alternativa correcta es “c”. Se muestran los resultados obtenidos en el Pre y Post-test.

Las preguntas 9 y 10 tienen la misma intención que la pregunta 8, es decir, pretende que los estudiantes reafirmen sus respuestas sobre el concepto de flujo eléctrico, relacionándolo con la carga encerrada por la superficie gaussiana. En las respuestas del pretest de la pregunta 9, las respuestas están dispersas, a pesar que llama la atención que en el pretest el 47,6% (10 alumnos.) contestan que el flujo es mayor para aquella superficie que encierra una carga negativa... Acá el modelo mental alternativo pareciera ser: *el flujo es mayor*

cuando las líneas de campo entran a la superficie gaussiana,... como si entraran a un recipiente. Quizás la analogía del flujo de agua representada por el volumen de agua que entra a un recipiente, en un determinado tiempo, lleve a los alumnos a pensar de este modo. Pero en el postest el 80,8% (21 de 26 alumnos) transforma sus modelos mentales. ¿Qué ayudó a esta transformación?, veremos la entrevista a Elisa que es una alumna que se presenta en este caso.

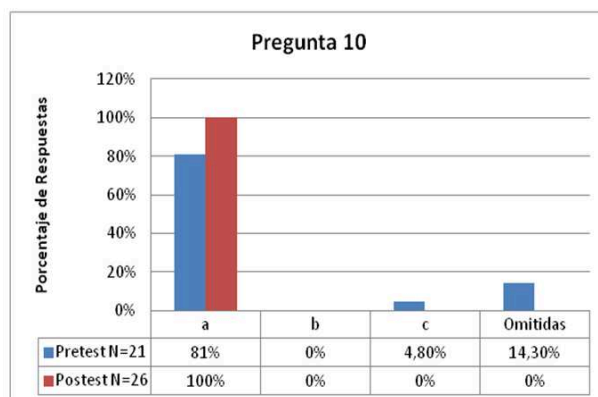


Gráfico y tabla 11 – Se muestran los resultados de la pregunta 10 cuya respuesta correcta es la alternativa “a”. Se muestran los resultados obtenidos en el Pre y Post-test.

Por último, con relación a la pregunta 10 los alumnos mayoritariamente comprenden, tanto en el pretest como en el postest, que para que exista un flujo eléctrico, debe haber una carga fuente que lo genere. Así el 100% de los alumnos revela este modelo cognitivo al contestar acertadamente la alternativa a) en el postest.

IV.6 Las entrevistas (al término de la asignatura)

Se entrevistaron tres alumnos, Eduardo, Felipe y Elisa, cuyos nombres son ficticios para preservar su identidad. No fueron elegidos al azar, sino que en función de la curiosidad de sus respuestas en el pre y postest.

Entrevista a Eduardo

Se elige porque en la pregunta 1 contesta la opción c (incorrecta) para el pretest y luego la opción e (correcta) en el postest. Se transcribe la entrevista en donde E representa al entrevistador y A al alumno. Al preguntarle porque el cambio de su respuesta, A responde...

Alumno: en el pretest me confundí, pensaba que más carga (eléctrica) es más fuerza sobre cualquier otro cuerpo. Asocio carga a más potente y menos carga... más débil. Como un camión con mucha carga que choca con un auto pequeño.

Entrevistador: ¿Entonces tu pensabas que el camión hace más fuerza sobre el auto que el auto sobre el camión?

A: si, ... me parecía evidente, ... el más fuerte hace más fuerza que el más débil.

De esta parte de la entrevista se infiere la presencia de un modelo inicial alternativo tipo causa efecto, es decir que la fuerza del cuerpo más cargado tendrá una magnitud mayor sobre el cuerpo menos cargado que la que hace el cuerpo de menor carga sobre el anterior, contradiciendo la ley de acción y reacción.

E: ...pero en el test son cargas eléctricas!

A: ... yo no pensé en eso...

E: En la primera prueba oficial (en donde se incluye el postest), contestaste bien la pregunta 1, ... ¿qué pasó?, ¿por qué cambiaste?

A: Es que igual quedé con la duda en el test de la primera clase (pretest) y lo conversé con mis compañeros..., pero algunos también tenían la duda, otros no sabían cómo explicar que las fuerzas eran iguales. Decían que en el colegio lo habían enseñado...

En esta parte el alumno pone en evidencia la necesidad de compartir con otros su modelo de fuerza eléctrica, primero con sus compañeros de curso. Aprovechando esta instancia de “predisposición hacia el aprendizaje” se plantea las actividades con las WQ, que incluye actividades online y resolución de ejercicios de lápiz y papel, asesorados por sus ayudantes.

E: ... pero, ¿cuándo te diste cuenta de tu error?

A: ah!!... (piensa)... me costó entender. Me di cuenta con las actividades de los ayudantes, con la WQ1 y los ejercicios (de lápiz y papel), que resolvimos. Ahí le pregunté y le puse el ejemplo del camión y el auto. Me contestó que en este caso las fuerzas también son iguales y opuestas.

E: ¿y cómo te convenciste?

A: ... demoré hartó (mucho)... el ayudante me habló de la Ley de acción y reacción... de mecánica. Yo no creía que eso se aplicaba también a las cargas...

E: ... a las fuerzas entre cargas eléctricas?

A: mmmm (afirma).

Las actividades dan al alumno la oportunidad de compartir significados con sus compañeros, con sus ayudantes y con su profesora.

E: Ya, pero te convenciste, finalmente?

A: ... bueno, al comienzo consideraba que tenía que ser así..., y hacía los ejercicios aplicándolo así (de esa manera), porque tenía que ser así –insiste-. Después me di cuenta que más que en las fuerzas me estaba fijando en el efecto de cada fuerza...

E: ¿cómo es eso?

A: es que pensaba que (en cuerpo con) menos carga es más liviano y le afecta más una fuerza que ha otro más cargado o más pesado.

E: O sea, ¿confundías carga eléctrica con el peso de cada cuerpo cargado?

A: ... parece que sí...

E: pero no estás convencido? (con sorpresa)

A: ... todavía lo estoy pensando

En toda esta parte de la entrevista el alumno reconoce y se esfuerza por asimilar la ley de acción y reacción, revisando recursivamente su modelo de interacción entre ambos cuerpos. En el proceso de revisión de su modelo mental acepta y reconoce que no debe relacionar magnitud de fuerza con el efecto que esta produce sobre otro y en su proceso de transformación pasa por una fase repetitiva, proposicional, que correspondería a una fase intermedia de transformación. Ya su modelo mental inicial ha sufrido transformaciones.

Entrevista a Felipe

Se elige a Felipe porque él representa a los estudiantes que confunden campo eléctrico con fuerza eléctrica, evidenciando su proceso de transformación de sus modelos mentales alternativos.

E: Fíjate que en el test, a comienzo de semestre contestaste que el campo creado por una carga Q positiva depende del tipo de carga q , positiva o negativa, que se coloque en el punto donde se desea medir en campo eléctrico... ¿te acuerdas?

A: mmm, me acuerdo poco... ¿y no es así?

E: me interesa que me expliques el por qué tú piensas que es así, ... ¿o cuál es tu razonamiento?

A: (piensa) es que yo creo que tiene que ver con la fuerza...y...ésta depende de la carga

E: ¿cuál carga?

A: ... bueno, la que se usa pa(ra) conocer en campo (eléctrico)...si es positiva la fuerza “sale” (radialmente) , si es negativa... “entra”

E: es decir que ¿el campo creado por Q tendría direcciones distintas, según la carga que se use para medirlo?

A: me confundo... es que las fuerzas eléctricas van en direcciones distintas!!... y el campo tiene la dirección de la fuerza (eléctrica)

E: ya, y si no pones carga en A – se le muestra la figura correspondiente-, ¿ Q no crea un campo?

A: (piensa) igual hay campo...-dibuja en un papel las “líneas de campo”- si po, igual hay campo, ... ¡saliente!...(me mira sorprendido y con expresión interrogante)

E: ¿entonces?

A: ay profe, me confundió, ¿cómo es entonces?...

De esta parte de la entrevista se infiere la presencia de varios modelos mentales en el alumno que al entrevistarlos entran en conflicto. Los modelos detectados son:

Modelo 1: El campo eléctrico creado por una carga puntual Q , positiva, depende de la fuerza eléctrica que afecta a la carga que se utiliza para detectar el campo.

Modelo 2: Es necesario una carga puntual “tester” para medir el campo eléctrico creado por una carga puntual, pero la ausencia de esta carga “tester” no permite medir el campo, luego no existe.

Modelo 3: El campo eléctrico creado por una carga puntual Q , se representa por las “líneas de campo”.

E: En la pregunta 7- le muestro la figura correspondiente- tú inicialmente contestaste (pretest) que en B había campo y después (postest), que el campo era nulo, ¿por qué cambiaste?

A: Si, no hay campo –asegura, me mira sonriente-

E: por qué?, ¿me interesa que pensabas antes y que te hizo cambiar de idea?

A: es que al comienzo creía que los puntitos de la figura eran como las “limaduras de hierro”... en el colegio me habían mostrado eso... y claro estaba confundido (en el pretest)... contesté lo que se me vino (a la cabeza)...

E: ¿y cómo crees que es la cosa?

A: no po, ahora entiendo... que el campo creado por las dos cargas se anula en B.

E: ¿y cómo llegaste a esa conclusión?

A: bueno, dos cosas... esa figura estaba explicada en la WQ y le preguntamos al ayudante quien nos explicó. Después la profe explico que esos puntitos eran las líneas equipotenciales.

En esta parte de la entrevista se pone en evidencia el proceso de diferenciación progresiva en el estudiante. Asume que la representación pictórica – de la pregunta 7 – está relacionada con nuevas variables físicas que ha conocido e interpretado posteriormente a través de las WQ y con los diálogos que han iniciado un proceso de negociación de significados con sus ayudantes y profesora. Sin embargo, toda la nueva información que integra a su estructura cognitiva le genera nuevos modelos mentales que requieren ser revisados dado que no logra discutir con su profesora sino que acepta tímidamente su explicación. Se infiere que sus modelos mentales iniciales alternativos se encuentran en proceso de transformación.

Entrevista a Elisa

Se elige el caso de Elisa dado que ella reconoce que el flujo es algo que entra a una cosa, como el agua a un recipiente.

E: Cuéntame, Elisa, ¿cómo has entendido el concepto de flujo eléctrico?

A: ¿???? – me mira sorprendida por la pregunta.

E: no te preocupes, sólo cuéntame ¿cómo lo imaginas?

A: bueno... como el agua que sale de la ducha... más agua, más flujo; menos agua,

menos flujo...

E: entonces como explicas que en el pretest contestaras que el flujo eléctrico es mayor si la superficie gaussiana encierra a una carga negativa y después en el posttest contestaras otra cosa...

A: es que ahora entiendo que depende de la carga encerrada por la superficie (gaussiana).

E: ¿y antes?

A: no sé... (piensa)... quizás sea porque al asociarlo a flujo de agua... el agua sale de una cosa – la fuente-... y aquí entra a una cosa...la carga $-Q$,...no sé, ¿por qué respondería así? – se pregunta a si misma- ah... eso fue porque yo creía que para medirlo se requiere de un balde (o recipiente)... y en ese caso el flujo de agua tiene que entrar al balde... claro, lo estaba asociando con el flujo de agua y esto es distinto.

Elisa logra entender que el flujo eléctrico no es exactamente igual al flujo de agua que entra a un recipiente al reconocer que “esto es distinto”. Pone en evidencia que la analogía con “flujo de agua” representa un obstáculo para poder asimilar el concepto de flujo eléctrico. Así, nuevamente se deja en evidencia en la estudiante que al decir “esto es distinto” está reconociendo que su modelo de flujo ha debido sufrir una transformación.

V. Conclusiones

Esta investigación ha pretendido contestar a dos preguntas, la primera, averiguar ¿cuáles son los modelos mentales iniciales que poseen los estudiantes investigados sobre los conceptos de fuerza electrostática y campo eléctrico? y si ¿es posible, mediante la utilización de la metodología Webquest (WQ), transformar los modelos mentales iniciales “alternativos”, en modelos mentales efectivos y acordes con las representaciones de las leyes físicas del Electromagnetismo?

Desde la perspectiva de la teoría de aprendizaje significativo, que es una teoría de corte constructivista, es necesario e importante conocer el estado cognitivo inicial de los estudiantes cuando inician una asignatura, que en este caso es Electromagnetismo. Conocer este estado cognitivo no solo significa conocer las preconcepciones de los estudiantes, sino que también como su mente procesa y trabaja con estas preconcepciones. Así la metodología didáctica a emplear debe considerar estos estados mentales para permitir la revisión recursiva de los modelos mentales empleados por los alumnos al enfrentarse con una situación determinada en este campo. Sustentada en esta teoría se diseña una metodología didáctica que utiliza la WQ como un medio que permita la construcción significativa del aprendizaje de los estudiantes.

La investigación revela que los modelos mentales iniciales con que trabajan los alumnos al enfrentarse a las preguntas del test son diversos cuando se trata de explicar un mismo fenómeno. En el caso de la fuerza eléctrica, sus modelos mentales no son estables y

coherentes con la teoría electromagnética, sino que se adaptan intuitivamente a cada situación planteada. Es decir, no tienen un modelo único para responder a preguntas relacionadas con un mismo tema, como es el caso de las preguntas relacionadas con la fuerza electrostática. Entonces, lo que hacen las actividades con la aplicación de las WQ es provocar la revisión recursiva de estos modelos, de modo que poco a poco estos modelos alternativos vayan transformándose hacia uno más cercano a los modelos científicos, de modo que el modelo transformado permita representar – y explicar- un número infinito de posibles estados de cosas, según el Principio de la economía (Johnson- Laird, 1983, p. 408, citado por Moreira, 1999). Argumentos que implican sólo un modelo mental pueden resolverse rápida y cuidadosamente. Sin embargo, es muy difícil sacar conclusiones precisas basadas en argumentos que pueden ser representados por múltiples modelos alternativos debido a la gran demanda hecha sobre la memoria de trabajo (Ibid.). Efectivamente, las observaciones de campo, durante las sesiones de trabajo con las WQ permiten observar y evidenciar estos estados de revisión recursiva a través de las discusiones entre estudiantes, con los ayudantes y su profesora.

La metodología WQ ha favorecido la socialización entre los estudiantes, con los ayudantes y la profesora, a través de una “herramienta” usual en su trabajo como es el computador, dado que son estudiantes de Ingeniería informática. Eso es lo que predice la teoría sociocultural vigotskiana, dado que una operación mental que inicialmente se inicia con una actividad externa, se reconstruye y comienza a suceder internamente en cada individuo y que un proceso interpersonal queda transformado posteriormente en otro intrapersonal. Esto aplicado a la experiencia ha significado que los estudiantes después de las actividades compartidas a través de las WQ, se han quedado reflexionando y en esa reflexión han revisado una y otra vez sus modelos mentales hasta que, de tanto discutir y revisarlos internamente, estos se van transformando y tendiendo a un único modelo más cercano a los modelos científicos relacionados con los conceptos de fuerza y campo eléctrico.

La entrevistas solo permiten “visualizar” y comprender este proceso de transformación que no termina con una sola actividad sino que es un proceso lento que requiere que el profesor o profesora genere los espacios necesarios para que se produzca el dialogo de discusión crítica, necesaria para negociar significados y para provocar la revisión recursiva de s modelos mentales de cada estudiante.

Agradecimientos

Deseamos expresar sentimientos de gratitud al Centro de Estudios Avanzados así como a la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de Playa Ancha de Ciencias de la Educación por otorgarnos el tiempo y el espacio necesarios para poder escribir estas reflexiones producto de las experiencias didácticas con nuestros estudiantes.

Referencias bibliográficas

ADELL, J. Internet en el aula: las Webquest. Edutec. **Revista electrónica de Tecnología educativa**, n. 17, marzo 2004. Disponible en: <http://edutec.rediris.es/Revelec2/revelec17/adell_16a.pdf>. Acceso en: 14 marzo 2013.

ALBORCH, A. et al. Una propuesta didáctica para la enseñanza de Física con el uso de nuevas tecnologías de información y comunicación webquest. In: REUNIÓN NACIONAL DE EDUCACIÓN EN LA FÍSICA, XV, 2007, Merlo, San Luis, Argentina. *CD*.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicología Educativa: Un punto de vista cognoscitivo**. 2. ed. México: Trillas, 1983.

BAGNO, E.; EYLON, B. From problem solving to a knowledge structure: an example from the domain of electromagnetism. **American Journal of Physics**, v. 65, n. 8, p. 726-736, 1997.

BARBA, C La investigación en internet con las Webquest. **Comunicación y Pedagogía**, n. 185, p. 62-66, 2002. Disponible en:

<<http://www.webquestcat.org/tallerwq/articles/CIVE.pdf>>. Acceso en: 14 marzo 2013.

BARQUERO, R. **Vygotsky y el aprendizaje escolar**. Buenos Aires: Aique, 2001.

BETANCOURT, J. F.; PERDOMO, A. P. El uso de la plataforma Moodle con recursos infotecnológicos interactivos en la docencia en Física: una experiencia en el Curso de Física Moderna II. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 2, n. 3, p. 23, 2008.

BOHIGAS, X.; PERIAGO, M.C. Modelos mentales alternativos de los alumnos de segundo curso de Ingeniería sobre la Ley de Coulomb y el Campo Eléctrico. **Revista electrónica de investigación educativa**, v. 12, n. 1, p. 1-19, 2010.

CORNUZ, L. C. La Webquest como material didáctico educativo aplicado a la enseñanza de la Física para el desarrollo de un aprendizaje significativo en función de una metodología activa y participativa por medio de un trabajo colaborativo, en base al paradigma socio cognitivo. **Revista Científica de la Fundación Iberoamericana para la Excelencia Educativa**, v. 4, n. 12, p. 5-19, 2011.

GOMES, F; LEÃO, M. B. C. Utilização de recursos audiovisuais em uma estratégia Flexquest sobre radioatividade. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 1, p. 37-58, 2012.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Modelos mentales y aprendizaje de Física en electricidad y magnetismo. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 16, n. 2, p. 289-303, 1998.

GUISASOLA, J. La investigación en la enseñanza de la física: de la anécdota a la producción de conocimiento científicamente fundado. **Investigações em ensino de ciências**, v. 10, n. 1, p. 103-127, 2005.

GUTIERREZ, R. Polisemia actual del concepto “modelo mental”. Consecuencias para la investigación didáctica. **Investigações em ensino de ciências**, v. 10, n. 2, Agosto 2005.

JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R. **Cooperation and competition. Theory and research**. Hillsdale, N. J.: Addison-Wesley, 1990.

JOHNSON, D.W.; JOHNSON, R. **Learning together and alone**. New Jersey: Prentice Hall: Englewood Cliffs, 1987.

JOHNSON-LAIRD, P. **Mental models**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983. 513p.

LOPEZ DONOSO, E; CASTILLO, C; VELIZ, JUAN. Aprendizaje colaborativo y significativo en la resolución de problemas de Física en estudiantes de Ingeniería. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 55-76, abr. 2008.

LÓPEZ DONOSO, E. **La modelización conceptual de la mecánica newtoniana en estudiantes de física universitarios: una aplicación de la teoría de Ausubel de aprendizaje significativo**. 2011. Tesis (Doctorado en enseñanza de las ciencias) - Universidad de Burgos, España. Disponible en:

<<http://dspace.ubu.es:8080/tesis/handle/10259/165>>.

MALONEY, D. P.; O’KUMA, T. L.; HIEGGELKE, C. J.; VAN HEUVELEN, A. V. Surveying students’ conceptual knowledge of electricity and magnetism. **Physics Education Research, American Journal of Physics Supplement**, v. 69, n. 7, S12-S23, 2001.

MOREIRA, M. A. **A Teoría da Aprendizagem Significativa de David Ausubel**. Fascículos de CIEF. Universidade de Rio Grande do Sul, São Paulo, Brasil, 1993.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: um conceito subyacente. En: MOREIRA, M. A.; CABALLERO SAHELICES, C.; RODRÍGUEZ PALMERO, M. L. (Eds.) ENCUESTRO INTERNACIONAL SOBRE APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO, II, 1997a, Universidad de Burgos. **Actas...** p. 19-44.

MOREIRA, M. A. Modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 3, 1997b. Disponible en <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>. Acceso en: 11 Jul 2014.

MOREIRA, M. A. Modelos Mentales. Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos, España; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Texto de Apoyo n° 8. Traducción de M. Luz Rodríguez Palmero. Revisado en 1999. Disponible en: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/modelosmentales.pdf>>. Acceso en: 11 Jul 2014.

MOREIRA, M. A. **Teoría de aprendizaje significativo**. En: MOREIRA, M. A.; CABALLERO, C. Actas del PIDEDEC. Texto de apoyo del Programa Internacional de Doctorado en enseñanza de las ciencias. Universidad de Burgos, España. Vol. II, p 31-68, 2000.

MOREIRA, M. A. La Teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel. En: **Aprendizaje significativo: fundamentación teórica y estrategias facilitadoras**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. **Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias**. Porto Alegre: UFRGS, Brasil, 2004.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro Editora, 2010.

MOREIRA, M. A. **Aprendizaje significativo en las investigaciones en enseñanza de las ciencias**. Taller realizado los días 25-26 de septiembre 2013, Universidad de Playa Ancha de ciencias de la Educación, Chile.

OTERO, R. Psicología cognitiva, representaciones mentales e investigación en enseñanza de las ciencias. **Investigaciones en enseñanza de las ciencias**, v. 4, n. 2, 1999.

POZO, J. I. **Teorías cognitivas del aprendizaje**. Ed. Morata: Madrid, 1989.

RODRÍGUEZ PALMERO, M. L. La teoría del Aprendizaje Significativo. En: CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE MAPAS CONCEPTUALES, 1, 2004, Pamplona, España. Disponible en <<http://es.slideshare.net/hellenjoacera/aprendizaje-significativo-ausubel-14933622>>. Acceso en: 11 Jul.2014.

RODRÍGUEZ PALMERO, M. L.; MARRERO ACOSTA, J.; MOREIRA, M. A. La teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird y sus principios: una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del Curso de Orientación Universitaria. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 6, n. 3, p. 243-268, 2001.

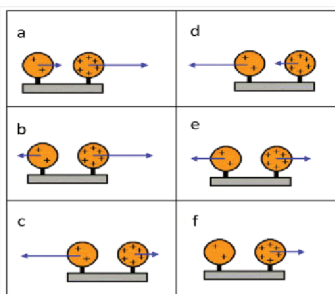
SALMERON, H.; RODRIGUEZ,S.; GUTIERREZ, C. Metodologías que optimizan la comunicación en entornos de aprendizaje virtual. **Comunicar: Revista científica iberoamericana de comunicación y educación**, v. 34, p. 163-171, 2010.

SILVA, R.; LÓPEZ DONOSO, E. Blended learning para la promoción de aprendizaje significativo en un curso de introducción a la física en el pregrado universitario. In: REUNIÓN NACIONAL DE EDUCACIÓN EN LA FÍSICA, XVI, 2009, Universidad Nacional de San Juan, Argentina. CD.

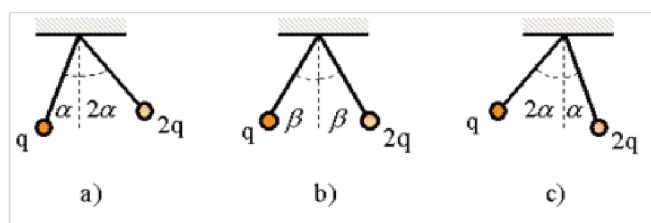
SILVA, R; CAUTIVO, R; LÓPEZ DONOSO, E. Incorporación de la Webquest al proceso de enseñanza aprendizaje de la física moderna. **Visiones Científicas**, v. 9, n. 1, p. 8-18, 2010.

Anexo A: Cuestionario o test Electromagnetismo

1. Dos esferas están uniformemente cargadas, siendo la carga de la esfera de la derecha el triple de la esfera de la izquierda. El diagrama de fuerzas que muestra correctamente la magnitud y la dirección de la fuerza electrostática es:



2. Dos pequeñas esferas de plástico tienen el mismo peso y están cargadas positivamente, una el doble de la otra. Cuál de los diagramas indica correctamente la situación de equilibrio de las esferas:

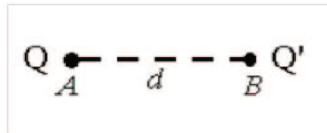


3. En los tres casos siguientes dibuja el vector que representa el campo eléctrico creado por Q en el punto A:

3a) Si en el punto A hay una carga puntual positiva	
3b) Si en el punto A hay una carga negativa	
3c) Si en el punto A no hay ninguna carga	

Para las preguntas 4 y 5 considere el siguiente enunciado y figura:

La figura muestra dos cargas puntuales Q y Q' positivas, siendo $Q' > Q$, situadas en los puntos A y B y separados una distancia d.



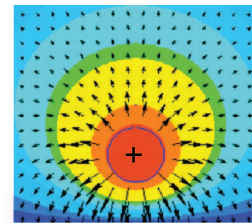
4. ¿El campo eléctrico E creado por Q en B es mayor, menor o igual que el campo E' creado por Q' en A ?

- a) $E > E'$ b) $E < E'$ c) $E = E'$

5. ¿La fuerza F que ejerce Q sobre Q' es mayor, menor o igual que la fuerza F' que ejerce Q' sobre Q ?

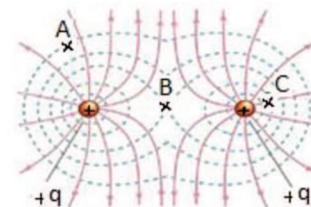
- a) $F > F'$ b) $F < F'$ c) $F = F'$

6. En la siguiente figura se muestra una carga positiva y la representación gráfica del campo eléctrico fuera de ella. ¿En qué zona (color) el campo eléctrico es mayor?



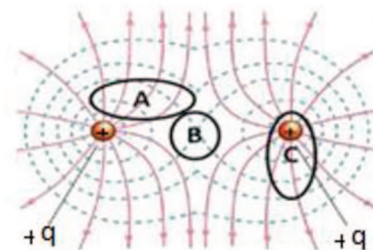
- a) Naranja, b) Azul, c) Verde, d) Amarillo

7. En la siguiente figura muestra dos cargas puntuales $+q$ iguales. ¿En qué punto el campo eléctrico tiene mayor intensidad?



- a) en A b) en B c) en C

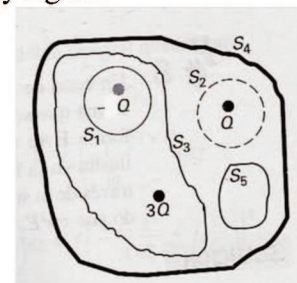
8. En la siguiente figura muestra dos cargas puntuales $+q$ iguales. Las líneas continuas que señalan las zonas A, B y C representan superficies cerradas e imaginarias. Diga en cual de esta el flujo es mayor.



- a) en C b) en A c) en B

Para las preguntas 9 y 10 considere el siguiente enunciado y figura:

En la figura se tiene tres partículas con cargas $+Q$, $-Q$ y $+3Q$.



9. ¿En qué zona el flujo eléctrico es mayor?

- a) S_1 b) S_3 c) S_4

10. ¿En qué zona el flujo eléctrico es nulo?

- a) S_5 b) S_1 c) S_2

11. En la figura se muestran dos partículas que tienen masas iguales y cargas de igual magnitud, q , pero de signos contrarios. La partícula "a" se encuentra en equilibrio estable cuando cuelga del techo por un hilo de masa despreciable, al estar ambas partículas separadas horizontalmente.

¿Cuál es el diagrama que muestra correctamente la magnitud y la dirección de las fuerzas electrostáticas?

