

ESTUDIO DE CASO DE LA COMPRENSIÓN DE DIFERENCIA DE POTENCIAL Y FEM EN ALUMNOS AVANZADOS Y GRADUADOS EN FÍSICA

(Case study of the understanding that graduate and advanced students in physics have about potential difference and EMF)

M. Cecilia Pocoví [cpocovi@unsa.edu.ar]

Elena Hoyos

Fac. Ciencias Exactas, Dpto de Física, Universidad Nacional de Salta
Avda Bolivia 5150 – (4400) Salta - Argentina

Resumen

En este artículo se realiza un estudio de caso acerca de las concepciones de dos alumnos universitarios avanzados y dos graduados en física acerca de los conceptos de diferencia de potencial y fem. Dicho estudio se lleva a cabo mediante entrevistas especialmente elaboradas para revelar las características ontológicas de sus concepciones. La importancia de dicho análisis radica en que trabajos previos, han llamado la atención acerca de los problemas que una incorrecta categorización ontológica puede traer para el aprendizaje de los conceptos en ciencia. El marco conceptual utilizado para realizar dicho análisis es el presentado por Chi (1992) y la metodología de estudio de caso se ajusta a la descrita en Merriam (1998). Este análisis podría arrojar alguna luz acerca de posibles estrategias de enseñanza que pueden ser diseñadas para salvar las diferencias entre ideas científicas y espontáneas, diferencias producidas por la categorización incorrecta de los conceptos.

Palabras-clave: diferencia de potencial, fem, ontología.

Abstract

A case study on the ideas that two advanced physics students and two graduate students have about the potential difference and emf concepts is presented. This study is carried out through clinical interviews specially designed to elicit the ontological characteristics of their conceptions. The importance of this analysis is rooted in previous works that have signaled the problems that an incorrect ontological characterization can carry in learning science concepts. The conceptual frame used for this analysis is the one presented by Chi (1992) and the methodology adjusts to the case study that is described in Merriam (1998). This analysis might throw some light on possible teaching strategies that can be designed to bridge the gap between scientific and spontaneous ideas produced by the incorrect ontological categorization of concepts.

Keywords : potential difference, emf, ontology.

Introducción

Los temas diferencia de potencial (en adelante ddp) y fem han sido tratados en diversos artículos de revistas científicas, tanto de física como de enseñanza de la física. Por un lado, el interés en el tema radica en detalles de gran importancia en las definiciones de estos conceptos, que son muchas veces pasados por alto en la enseñanza de física básica y en los textos utilizados (Page, 1977; Varney & Fisher, 1980; De Jong, 1993; Jiménez Gómez y Fernández Durán, 1998; Tankersley y Mosca, 2003). Así, se ha detectado que muchos libros de física básica que definen a la f.e.m. como la causa de la ddp entre las terminales de una batería, no hacen mención a que

ésta es debida a acciones no electrostáticas (Page, 1977, p. 406). La omisión de aclarar que el campo involucrado en la generación de la f.e.m. no es electrostático, acarrea problemas cuando se trata el tema de la f.e.m. debida al movimiento relativo de un conductor y un campo magnético en cursos superiores. En este caso, algunos textos pueden llevar al lector a interpretar erróneamente que el campo electrostático tiene una circulación no nula (Tankersley y Mosca, 2003).

Por otro lado, las investigaciones en enseñanza de la física han centrado su atención en las dificultades de aprendizaje relacionadas con estos conceptos. Estudios previos han demostrado que los estudiantes poseen dificultades en la comprensión de los conceptos de ddp y fem, dificultades inherentes a lo abstracto de los mismos. Estos estudios abarcan un amplio rango que incluye el análisis de las ideas previas que los estudiantes poseen acerca de la ddp y fem en circuitos simples y la correspondiente propuesta de estrategias para su enseñanza (Cohen, et al., 1982; Millar, 1993; Turley, 1994; Velazco y Salinas, 1999; Borges y Gilbert, 1999, autocita), los problemas epistemológicos en la enseñanza tradicional de estos conceptos (Furió, y Guisasola, 1998; Jiménez Gomez y Fernandez Durán, 1998), las técnicas de resolución de problemas utilizadas por los alumnos (Mc Millan y Swadener, 1991), entre otros.

Se puede realizar también un análisis de los trabajos existentes en base a dos categorías: a) si el análisis de los conceptos de ddp y fem de los estudiantes, es encuadrado y limitado a circuitos simples de corriente continua (o sea limitado, por ejemplo, a la definición operacional de ddp dada generalmente mediante la ley de Ohm) o, b) si se analizan las concepciones de los estudiantes en situaciones electrostáticas en donde se trabaja con una definición más acabada de ddp y fem: la primera como menos la integral de línea de un punto a otro del campo eléctrico producido por cargas y la segunda como la integral entre dos puntos de un campo no conservativo. En general, los trabajos revisados corresponden a una u otra categoría y sólo unos pocos enfocan su atención en la relación que existe entre las ideas que los estudiantes usan en, por ejemplo, electrostática y las que tienen acerca del comportamiento de circuitos simples. Un trabajo fundamental en este tipo de análisis es el presentado por Eylon y Ganiel (1990). Ellos encontraron que “en situaciones muy simples, la mayoría de los estudiantes no relacionan conceptos de electrostática con sus descripciones de los fenómenos. Esto lleva a inconsistencias en las respuestas de los estudiantes acerca de corriente, cargas y sus fuentes en un circuito eléctrico” (p. 79). La investigación de la relación que existe entre las ideas que poseen los estudiantes avanzados acerca de conceptos abstractos en electrostática y el comportamiento de circuitos simples parece ser un área de vacancia en la investigación educativa en física.

Algunos investigadores han señalado ciertas características del conocimiento manejado por expertos: “los expertos caen frecuentemente en el uso de sus concepciones intuitivas para realizar predicciones simples acerca de eventos físicos diarios. Esto sugiere que las concepciones previas no han sido reemplazadas por las teorías científicas sino que coexisten con ellas.” (Chi, 1992). En el caso particular de los conceptos de ddp y fem, la presente investigación apunta a describir las concepciones de los expertos seleccionados (estudiantes avanzados y graduados) y estará dirigida a caracterizar ontológicamente las estructuras de conocimiento con las que operan, según la clasificación presentada en Chi (1992 y 1994). En este sentido, el caso a estudiar, o, en palabras de Merriam (1998) “la entidad o la unidad alrededor de la cual hay fronteras” (p. 27), que estará constituido por un grupo de estudiantes avanzados y graduados de la licenciatura en física, que ya han cursado y aprobado las materias de electromagnetismo correspondientes a su carrera.

Estudios acerca de las diferencias ontológicas que existen entre la concepción científica de ddp y fem, y las ideas que poseen los estudiantes después de la instrucción se han llevado a

cabo anteriormente con alumnos novatos en el tema (Lee y Law, 2001; autocita). En este último, por ejemplo, se trabajó con estudiantes universitarios de primer año y se estudió el impacto de la incorrecta categorización ontológica de los conceptos de corriente eléctrica, ddp y fem en situaciones en que los circuitos simples estudiados en los cursos básicos sufrían algún cambio. Se concluyó que “[...]si bien las presentaciones de los conceptos involucrados en circuitos simples no pueden ser más elaboradas en el nivel inicial, el conocimiento de que existen problemas de aprendizaje asociados a una categorización ontológica incorrecta nos pone sobre aviso acerca de posibles concepciones que dichos alumnos “acarrear” a materias de nivel un poco más elevado.” Ya que ese trabajo se limitó a estudiar a alumnos pertenecientes al primer año de la universidad, no se pudieron extraer conclusiones acerca de cómo afectan estas ideas en la formalización más estricta de estos conceptos. Es sobre este punto que la presente investigación pretende incursionar.

Marco teórico y metodología

En este trabajo se estudiaron las ideas que tienen alumnos avanzados y alumnos graduados en física acerca de ddp y fem. Dicho estudio se realizó tomando como marco teórico para el análisis de los datos recabados, la teoría de categorizaciones ontológicas de los conceptos presentada en Chi (1992) y Chi et al. (1994). Como metodología de trabajo se eligió realizar un estudio de caso (según Merriam, 1998) de dos estudiantes avanzados y dos graduados, o sea que se realizó un “estudio de caso evaluativo que involucra la descripción, explicación y juicio” (Merriam, 1998, p. 39) del caso estudiado. Todos los participantes podrían considerarse “expertos” en el sentido que todos han cursado y aprobado materias de electromagnetismo de nivel intermedio y alto. Las entrevistas individuales encuadradas en esta metodología permitieron caracterizar las estructuras de conocimiento utilizadas por los expertos y su categorización ontológica para el caso de ddp y fem.

Para mostrar al lector los puntos más salientes de la teoría de Chi (1992), adoptada en este trabajo, se presenta un resumen que, como tal, no pretende ser un análisis acabado de dicha teoría. Se recomienda al lector referirse a los trabajos citados para completar esta síntesis.

Chi (1992) estableció que la confusión del estatus ontológico del concepto a ser estudiado es un factor importante que afecta el aprendizaje. Su teoría categoriza las entidades en el mundo como conceptos “basados en materia” y “basados en procesos.” Muchos trabajos (Chi et al, 1994; Keil, 1979; Slotta et al, 1995) muestran que el conocimiento conceptual está estructurado de acuerdo a categorías, siendo las categorías tipo “materia” y tipo “procesos” de gran importancia en la enseñanza de física. Mientras que la mayoría de los conceptos en física pertenecen a la categoría “procesos” (Chi et al. 1994), es común que los estudiantes asimilen los conceptos en la categoría “materia” (Reiner et al., 2000; autocita2).

Los atributos ontológicos asociados con una cierta categoría son la llave para saber si un concepto pertenece a una categoría o no. Chi et al. (1994) definen los atributos ontológicos como “una propiedad que una entidad podría potencialmente tener como consecuencia de pertenecer a esa categoría” (p. 29). Por ejemplo, “agua” pertenece a la categoría “materia” porque los atributos asociados con esta categoría, como ser “empujable”, “contenible”, “consumible”, entre otros (Reiner et al., 2000, p. 5), pueden formar una oración con sentido cuando se usan como predicados de agua. En el caso de ddp y fem, estos conceptos no pertenecen a la categoría materia: hablar de ellos como “empujables”, “contenibles” o “consumibles” no tiene sentido. La identificación de ddp y de fem con cargas, lleva a la errónea predicación de estos conceptos como pertenecientes a la categoría “materia”. En otras palabras,

no se obtienen oraciones con sentido cuando se predicán los conceptos de ddp y fem con atributos correspondientes a la categoría materia. Hace falta llamar la atención sobre la palabra “potencialmente” que se encuentra en la definición de atributos ontológicos para tener presente la distinción entre frase sin sentido y frase falsa. Una silla (concepto tipo materia), puede ser predicada con el adjetivo azul (atributo ontológico de objetos materiales), lo cual dará por resultado una frase con sentido pero falsa en el caso de que ésta sea amarilla. En cambio, si se predica silla con “termina en una hora” (atributo ontológico de la categoría eventos) se obtiene una frase sin sentido.

La categoría de los conceptos tipo “procesos” tiene atributos ontológicos como: “resulta en”, “no tiene principio ni fin aún cuando se llega al equilibrio”, “involucra un sistema de componentes interactuantes que tienden al equilibrio” (Slotta y Chi, 1999), entre otros. Una ddp “resulta en” el movimiento de cargas eléctricas en un conductor, cuando existe una ddp en un conductor, ésta involucra la interacción de un campo eléctrico (conservativo) con las cargas que responden tendiendo al equilibrio. Además, la definición de ddp a partir de la integral curvilínea del campo no tiene inherente un principio ni un fin. La fem, por su parte, resulta en la elevación del potencial de cargas, involucra la interacción de un campo (no conservativo) con cargas que responden tendiendo al equilibrio. Por último, la definición de fem no tiene inherente un principio ni un fin. Tanto el concepto de ddp como el concepto de fem pueden ser clasificados bajo la categoría de concepto tipo “proceso”.

Una categorización ontológica equivocada implica que el estudiante no posee un conocimiento adecuado del concepto. En varios trabajos (Keil, 1979; Slotta y Chi, 1999; Reiner et al., 2000; autocita2), los patrones de predicados verbales utilizados por los estudiantes fueron tomados como evidencia de su entendimiento de la ontología de un concepto. En resumen, investigaciones previas han demostrado que los estudiantes tienen problemas para asignar la ontología correcta a los conceptos recién aprendidos. En el caso particular de los conceptos de ddp y fem, una investigación previa (autocita1) mostró que muchos alumnos de cursos universitarios básicos poseen ideas materiales acerca de estos conceptos. Chi (1992) advierte que los cambios conceptuales “entre categorías ontológicas” para adquirir un concepto científico son los más difíciles de lograr.

Cabe preguntarse si los alumnos avanzados y graduados de las carreras de física, que ya han estudiado definiciones más generales y abstractas de ddp y fem, mantienen las ideas materiales de estos conceptos y en qué forma estas ideas afectan la interpretación de situaciones físicas. Para contestar a estas preguntas, se seleccionaron cuatro sujetos: dos estudiantes avanzados de la licenciatura en física y dos graduados en la misma carrera. Los sujetos entrevistados fueron los que respondieron voluntariamente en forma afirmativa a la convocatoria realizada por las investigadoras. Se avisó a los participantes que el tema de la entrevista sería diferencia de potencial y fem, con una semana de anticipación.

Entrevista

La entrevista fue diseñada con el propósito de revelar las características ontológicas de las concepciones de ddp y de fem de los entrevistados. Para ello, se seleccionaron dos situaciones que parecieran equivalentes desde una concepción material de ddp y fem, pero que no lo fueran desde el punto de vista científico correcto. Una de las situaciones involucra una ddp obtenida a partir de un campo electrostático (o sea conservativo) producido por una distribución de cargas inducidas. La segunda situación involucra una fem que, por supuesto, será producida por algún campo no conservativo. Dicha fem se representa en el circuito como una fuente con sus polos de potencial alto y bajo (comúnmente llamados positivo y negativo). Si los sujetos

poseen una concepción material de ddp y fem o una concepción tipo proceso equivocada, como por ejemplo, la identificación de estos conceptos con cargas o la identificación de fem con acumulación de cargas por medios electrostáticos, se interpretarían las dos situaciones como equivalentes. La validez de las preguntas generadoras de la entrevista fueron chequeadas con dos profesores externos a la investigación. Los resultados fueron analizados por los dos investigadores involucrados en base a un protocolo y las disidencias fueron revisadas en forma conjunta para llegar a un acuerdo.

La primera situación muestra una esfera conductora cargada positivamente a la que se le acerca una esfera conductora neutra como muestra la figura 1.



Figura 1. Primera Situación Planteada en la entrevista

Las preguntas generadoras de esta parte de la entrevista giraron en torno a qué sucede en la esfera neutra, cuál es la ddp entre las cargas de la esfera neutra y porqué las cargas inducidas no se recombinan. Se realizaron preguntas de aclaración (“probing questions”, según Heller, 1998) en cada caso particular. La contestación correcta a estas preguntas incluiría una descripción del proceso de inducción de cargas sobre la esfera de metal, y una descripción del proceso que da lugar a un campo eléctrico nulo dentro del metal. Esto es, que las cargas inducidas producen un campo eléctrico tal que anula el campo eléctrico externo o producido por las cargas de la esfera dieléctrica. La diferencia de potencial entre las cargas positivas y negativas inducidas en el metal es cero ya que, al ser nulo el campo eléctrico dentro de la misma, la integral curvilínea $\int_C \vec{E} \cdot d\vec{l}$ da como resultado un potencial constante en toda la esfera. En otras palabras, las cargas positivas y negativas de la esfera conductora están a un mismo potencial.

Luego, la situación anterior se modifica uniendo la cara positiva y la negativa de la esfera inducida con un cable conductor. De nuevo, las preguntas generadoras se refieren a la descripción de lo que sucede físicamente en este caso.

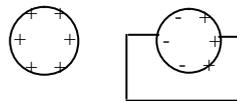


Figura 2. Segunda Situación Planteada en la entrevista

Ya que la diferencia de potencial es nula dentro del conductor, las cargas positivas y negativas a ambos lados del mismo, no se recombinarán mediante el cable conector y la configuración se mantendrá como en la primera situación. Lo que posibilita la recombinación de cargas positivas y negativas en una determinada configuración es la diferencia de potencial que hay entre ellas. No existiendo en este caso, una ddp, no hay recombinación.

Por último, se plantea la situación en que una fuente se cortocircuita (como se muestra en la figura 3). Las preguntas principales de la entrevista indagan al sujeto acerca de la equivalencia o no de las dos situaciones (cargas inducidas unidas por cable y fuente cortocircuitada).

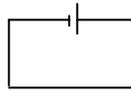


Figura 3. Tercera Situación Planteada en la entrevista.

Esta situación es radicalmente diferente a la situación 2 puesto que en este caso, existe una fem generada por un campo no conservativo que hace que la circulación del campo eléctrico alrededor de todo el circuito no sea nula y por lo tanto, que pueda haber movimiento de cargas por los conectores.

Las entrevistas llevadas a cabo con estos estudiantes fueron grabadas, transcritas y analizadas por el equipo de investigadores.

Resultados

Ninguno de los participantes tuvo problema en explicar la inducción de cargas en la esfera neutra y en describir correctamente cómo se distribuirían dichas cargas inducidas. Las ideas más relevantes evidenciadas en las respuestas de los participantes son presentadas en tablas en las cuales se clasifica a las ideas mencionadas según la categorización ontológica siguiendo Chi (1992). Los atributos que el participante asoció con cada concepto fueron colocados respetando el orden en que fueron mencionados por el sujeto en la entrevista.

Las respuestas del sujeto #1 a la situación descrita en la figura 1, se muestran a continuación.

Atributos asignados a ddp y a V	categoría	Falso/ verdadero / sin sentido
V es constante dentro de un conductor	proceso	verdadero
V es una función escalar y continua	proceso	verdadero
$\oint V? \int E dl$	proceso	verdadero
El potencial de las cargas positivas es positivo y el de las negativas es negativo	proceso	falso
$\oint V = 0$	proceso	verdadero
$V \text{ de } q^+ = V \text{ de } q^-$	proceso	verdadero

Tabla 1. Respuestas del Sujeto #1 a la situación 1.

Todos los atributos que el sujeto #1 asigna a la ddp, pertenecen a la categoría proceso. Llama la atención la mención de una gran cantidad de expresiones formales aprendidas acerca de ddp. La asignación del signo de las cargas al potencial aparece cuando se le solicita al sujeto que compare los potenciales de las caras positiva y negativa del conductor. Dicha asignación no es una identificación directa entre potencial y cargas sino entre el signo del potencial y el signo de las cargas y es por eso que “el potencial de las cargas positivas es positivo” no ha sido clasificado como de tipo materia sino como un atributo (falso) correspondiente a un ente (función potencial) tipo proceso. Para explicar la situación de equilibrio en que se encuentran las cargas, pregunta planteada por el entrevistador y no surgida espontáneamente del entrevistado, el sujeto recuerda que la ddp es cero en un conductor en equilibrio y vuelve así a establecer el atributo ontológico correcto de este concepto tipo proceso.

Las respuestas del sujeto #1 con respecto a la situación planteada en la figura 2 y su comparación con la de la figura 3 se presentan en la siguiente tabla:

Atributos asignados a fem	categoría	Falso/ verdadero / sin sentido
Raya larga de la fem son cargas +	materia	Sin sentido
Raya corta de la fem son cargas -	materia	Sin sentido
Las dos situaciones son iguales, hay cargas acumuladas en los bornes	materia	Sin sentido
? $V = 0$	proceso	falso
Los electrones se mueven por las fuerzas electrostáticas que producen cargas + y -	proceso	falso
Se genera corriente por esa distribución cargas	proceso	falso

Tabla 2. Comparación entre situación 2 y 3 realizada por Sujeto # 1

En el sujeto #1 coexisten dos estructuras ontológicas, una correspondiente a ideas de fem tipo materia y otra correspondiente a ideas tipo proceso. La primera, aparece cuando el sujeto trata de describir qué es la fem e identifica a ésta con la presencia de cargas positivas y negativas como se muestra en los tres primeros atributos asignados en la tabla. La segunda se evidencia cuando el sujeto tiene que comparar el caso de una fuente que se cortocircuita con aquel en que las dos caras de la esfera conductora con cargas inducidas se unen con un alambre conductor. El sujeto opta por asignar un atributo de los conductores en equilibrio a la fem ($? V = 0$) para dar una falsa consistencia interna a su razonamiento: si las dos situaciones son equivalentes, tener una fem es lo mismo que tener una ddp producida por un campo eléctrico conservativo. Esta característica es un atributo ontológico que la fem no posee (pero podría potencialmente poseer por el hecho de ser un concepto tipo proceso, así como una silla puede ser azul aunque en verdad sea amarilla). El problema es que dicho atributo ontológico es efectivamente asociado a la fem por el sujeto y esto lleva a que el proceso que define a la fem sea identificado, incorrectamente como producto de la interacción electrostática entre cargas. La existencia de corriente en el circuito con la fuente, es entonces explicada en base a consideraciones electrostáticas: "...O sea si yo tomara una sección de este conductor, en esta sección tengo todas las cargas negativas, y en este tengo todas las cargas positivas, y eso me genera un campo eléctrico y ese campo eléctrico me impulsa o hace mover los electrones que están por ahí por el conductor...".

Las respuestas del sujeto #2 a la situación descrita en la figura 1, se muestran a continuación.

Atributos asignados a ddp y a V	categoría	Falso/ verdadero / sin sentido
El potencial de q^+ y el potencial de q^- tiene signos cambiados	proceso	falso
V de $q^+ = V$ de q^- en el caso del metal	proceso	verdadero

Tabla 3. Respuestas del Sujeto #2 a la situación 1.

El sujeto comienza su descripción del potencial de las cargas positivas respecto del de las negativas en el conductor en equilibrio, identificando el signo del potencial con el signo de las cargas, como en el caso del sujeto anterior. El cambio de idea ($? V = 0$) se produce ante la pregunta del entrevistador acerca del campo eléctrico adentro del conductor, con lo cual, el sujeto recuerda la condición de potencial constante.

Las respuestas del sujeto #2 con respecto a la situación planteada en la figura 2 y su comparación con la de la figura 3 se presentan en la siguiente tabla:

Atributos asignados a fem	categoría	Falso/ verdadero / sin sentido
En la fem tengo una zona a potencial mayor y otra a potencial menor.	proceso	verdadero
Un campo electrostático produce la fem	proceso	falso
Una fuerza electrostática produce esta ddp	proceso	falso

Tabla 4. Comparación entre situación 2 y 3 realizada por Sujeto # 2

El segundo sujeto comienza su descripción de la fem mencionando la existencia de una zona de mayor potencial y otra de menor potencial. En ningún momento habla explícitamente de acumulación de cargas pero sin embargo, durante su análisis del funcionamiento de la fem y cuando la compara con el caso electrostático, presenta ideas que se relacionan con una distribución electrostática de cargas. Por un lado, el funcionamiento de la fem es explicado mediante la existencia de un campo electrostático y la presencia de fuerzas electrostáticas que producen una ddp. En este sentido, si bien la categoría ontológica de dichos atributos es la correcta (proceso), el valor de verdad de las proposiciones resultantes es falso. Por otro lado, para este sujeto, las dos situaciones comparadas (figura 2 y 3) no son equivalentes (lo cual es verdad) pero la justificación de este hecho es, por lo menos, poco clara: “en el caso de la esfera, al estar presente esta otra esfera [la cargada], mantiene la configuración y no circula corriente [...] en cambio acá si.” Pareciera ser que la condición que diferencia a uno de otro caso radica en el hecho de la existencia de algo exterior que mantenga la configuración de cargas electrostáticas, impidiendo su recombinación. Hubiera hecho falta alguna pregunta de profundización adicional para hacer que el sujeto explicitara mejor su idea. De todas formas, se evidencia la existencia de una estructura ontológica de la fem caracterizada como proceso siendo este, sin embargo, el proceso equivocado.

Las respuestas del sujeto #3 a la situación descrita en la figura 1, se muestran a continuación.

Atributos asignados a ddp y a V	categoría	Falso/ verdadero / sin sentido
El potencial adentro del metal será constante	proceso	verdadero
El potencial adentro es igual en todas partes	proceso	Verdadero
La diferencia de potencial es cero	proceso	Verdadero

Tabla 5. Respuestas del Sujeto #3 a la situación 1.

El análisis que realiza este sujeto es conceptualmente correcto y claro. Parte del hecho que el campo es cero adentro del conductor en equilibrio electrostático y llega sin problemas a que el potencial adentro es constante o sea que la ddp es cero.

Las respuestas del sujeto #3 con respecto a la situación planteada en la figura 2 y su comparación con la de la figura 3 se presentan en la siguiente tabla:

Atributos asignados a fem	categoría	Falso/ verdadero / sin sentido
En el caso de este circuito tengo que la circulación del campo me da distinta de cero.	proceso	verdadero
El campo adentro de la fem no es un campo conservativo, distinto al que tengo acá [esfera]	proceso	verdadero
Tengo un campo cuyo rotor es distinto de cero	proceso	verdadero
Esta fem produce una circulación de cargas	proceso	verdadero

Tabla 6. Comparación entre situación 2 y 3 realizada por Sujeto # 3

De nuevo, este sujeto posee una claridad conceptual demostrada en la asignación de atributos de la categoría ontológica correcta y que además son verdaderos.

Las respuestas del sujeto #4 a la situación descrita en la figura 1, se muestran a continuación.

Atributos asignados a ddp y a V	categoría	Falso/ verdadero / sin sentido
El potencial las cargas es nulo	proceso	falso
El potencial es la derivada del campo	proceso	falso
El potencial de q^+ es positivo y el potencial de q^- es negativo	proceso	falso
Existe una ddp entre las cargas del conductor	proceso	falso

Tabla 7. Respuestas del Sujeto #4 a la situación 1.

La estructura conceptual de este sujeto muestra que, a pesar de utilizar predicados que corresponden a la categoría proceso, dichos predicados son falsos y contradictorios.

Las respuestas del sujeto #4 con respecto a la situación planteada en la figura 2 y su comparación con la de la figura 3 se presentan en la siguiente tabla:

Atributos asignados a fem	categoría	Falso/ verdadero / sin sentido
En la fem tengo una carga neta positiva de este lado y una carga neta negativa de este otro.	materia	Sin sentido
Un campo electrostático produce la fem	proceso	falso
La fem levanta el potencial de las cargas	proceso	verdadero
En los dos casos actúa un campo electrostático. Los fenómenos son distintos pero los campos son iguales.	proceso	falso

Tabla 8. Comparación entre situación 2 y 3 realizada por Sujeto # 4

De una forma similar al sujeto 1, el sujeto 4 trata de describir qué es la fem e identifica a ésta con la presencia de cargas positivas y negativas. Luego explica cómo funciona la fem a través de un proceso en donde actúa un campo electrostático, lo cual es falso. El resultado de tener una fem en el circuito tiene un resultado distinto al de tener las cargas en la esfera porque la fem “levanta el potencial de las cargas”. Sin embargo, el campo asociado con la fem es uno electrostático como en el caso de la esfera con cargas inducidas.

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que, excepto en un caso (sujeto #3), los sujetos entrevistados comienzan asignando al potencial de las cargas el signo correspondiente a ellas de manera que la esfera con cargas inducidas no se considera como a un potencial constante. Dicha asignación o predicación del potencial no corresponde directamente a identificar potencial con

cargas (como pasaba con los alumnos novatos, según las investigaciones previas mencionadas) así que no puede ser considerada como una idea tipo materia. En cambio, se usa un predicado falso asociado a un proceso (función potencial). Se ve entonces, que en los estudiantes avanzados y graduados entrevistados, no se presentan dos estructuras ontológicas pertenecientes a distintas categorías (materia y proceso) sino dos estructuras dentro de la categoría proceso: por un lado, se conocen definiciones formales de la ddp y el potencial y por otro, se asocia predicados falsos a esta función. Según la teoría de Chi (1992), los cambios conceptuales “dentro” de un mismo árbol ontológico (como lo sería dentro de “procesos”) son más fáciles de lograr que los cambios “entre” árboles. Esto podría explicar, tal vez, el hecho que ante la contradicción que presenta el campo nulo dentro del conductor y la ddp no nula (o el potencial variable), algunos de los entrevistados recuerdan o deducen inmediatamente que la ddp debe ser cero.

En el caso de la fem, se presentan estructuras ontológicas paralelas tipo materia y tipo proceso (excepto en el caso del sujeto #3) pero no en el sentido predicho por Chi (1992) ya que la estructura tipo proceso evidenciada por los sujetos no es la científicamente correcta. En cambio, esta estructura tipo proceso, que describe a la fem como causada por un campo electrostático, parece enunciarse para no contradecir la idea de que la fem es acumulación de cargas positivas y negativas en un conductor. El hecho de partir de una estructura ontológica equivocada (tipo materia) tiene consecuencias serias ya que al intentar explicar un proceso que defina fem, los sujetos derivan en una explicación totalmente ingenua del fenómeno.

Sin ánimo de generalizar estos resultados, los mismos pueden servir para tener en cuenta que un grado alto de formalización no implica conocer la naturaleza u ontología de los fenómenos. La enseñanza de la naturaleza de los conceptos a aprender debería acompañar las formalizaciones de dichos conceptos o según lo explicita Chi en su teoría de 1994: “...*La instrucción debe hacerse describiendo (tal vez mediante ejemplos) la naturaleza de esta categoría ontológica, después de lo cual, los estudiantes pueden asimilar nueva información a esta categoría de conocimiento.*” En el caso de la ddp y fem, la pertenencia de estos dos conceptos a la categoría tipo proceso y la enseñanza detallada del tipo de proceso que ellos representan, debería constituir una parte integral de su enseñanza.

Referencias

- BORGES, A. T. y GILBERT J. K. (1999), Mental models of electricity, *International of Science Education*, (21), 1, pp. 95-117.
- CHI, M. T. H. (1992). ‘Conceptual Change Within and Across Ontological Categories: Examples From Learning and Discovery in Science’, in Giere, R. (ed.) *Minnesota Studies in the Philosophy of Science* Vol XV, 129-186, (University of Minnesota Press, Minneapolis).
- CHI, M. T. H., SLOTTA, J. D., y de LEEUW, N. (1994). From Things to Processes: a Theory of Conceptual Change for Learning Science Concepts, *Learning and Instruction* 4, 27-43.
- COHEN, R., EYLON, B., & GANIEL, U. (1982). Potential Difference and Current in Simple Circuits: A Study of Students’ Concepts. *American Journal of Physics*, 51, (5), 407 – 412.
- DE JONG, M. (1993). Graphing Electric Potential, *The Physics Teacher*, 31, 271 – 272.

- EYLON, B. & GANIEL, U. (1990). Macro-Micro Relationships: the Missing Link Between Electrostatics and Electrodynamics in Students' Reasoning, *International Journal of Science Education* **12** (1), 79-94.
- FURIÓ, C. & GUIASOLA, J. (1998) Difficulties in learning the concept of electric field, *Science Education* **18**, (7), 511-526.
- HELLER, P. (1998) *Planning, Conducting, and Analyzing Classroom Research*. [Course Studies in Science Education, University of Minnesota].
- JIMENEZ GOMEZ, E & FERNANDEZ DURAN, E. (1998). Didactic Problems in the Concept of Electric Potential Difference and an Analysis of its Philogenesis, *Science and Education*, **7**, 129-141.
- KEIL, F. C. (1979). *Semantic and Conceptual Development*. Cambridge: Harvard University Press.
- LEE, Y. & LAW, N. (2001) Explorations in promoting conceptual change in electrical concepts via ontological category shift. *International Journal of Science Education*, **23**, (2) 111– 149.
- MAC MILLAN C., y SWADENER, M.(1991). Novice Use of Qualitative Versus Quantitative Problem Solving in Electrostatics, *Journal of Research in Science Teaching* **28**,(8), 661-670.
- MERRIAM, S.B. (1998) *Qualitative Research and Case Applications in Education*, Segunda Edición, (Jossey Bass Publishers, San Francisco).
- MILLAR, R. (1993). Students' Understanding of Voltage in Simple Series Electric Circuits. *International Journal of Science Education*, **15**, (3), 339 – 349.
- PAGE, C. (1977). Electromotive Force, Potential Difference, and Voltage, *American Journal of Physics*, **45**, (10), 978 – 980.
- REINER, M., SLOTTA, J. D., CHI, M.T.H & Resnick, L.B. (2000). Naive physics reasoning: a commitment to substance – based conceptions. *Cognition and Instruction*, **18** (1), 1-34.
- SLOTTA, J. D., CHI, M. T. H., JORAM, E. (1995). Assessing students' misclassifications of physics concepts: an ontological basis for conceptual change. *Cognition and Instruction*, **13** (3), 373-400.
- SLOTTA, J. D. & CHI, M. T. H. (1999). Overcoming robust misconceptions through ontology training. Manuscript Submitted for publication.
- TURLEY, M. (1994). A model of potential difference in a simple electric circuit. *Australian Science Teacher Journal*, **40**, 60-61.
- TANKERSLEY, L. & MOSCA, E. (2003). Introducing Faraday's Law. Physics Department de la USNA, manuscrito facilitado por el autor.
- VARNEY, R. & FISHER, L. (1980). Electromotive Force: Volta's Forgotten Concept. *American Journal of Physics*, **48** (5), 405-408.
- VELAZCO, S. & SALINAS, J. (1999). Dificultades de estudiantes universitarios en la comprensión de la noción de potencial eléctrico, *Actas de REF XI*, 240 – 245.

Recebido em: 15/12/2004

Aceito para publicação em: 05/04/2005