

## Problemas de categorización ontológica de las concepciones de diferencia de potencial y fem en alumnos universitarios

M. Cecilia Pocovi<sup>1</sup>, E. Hoyos<sup>2</sup>

[cpocovi@gmail.com](mailto:cpocovi@gmail.com) , [hovosele@gmail.com](mailto:hovosele@gmail.com),

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Avda. Bolivia 5150, Salta Capital, Argentina

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Departamento de Física, Universidad Nacional de Salta, Avda.

Bolivia 5150, Salta Capital, Argentina

### Resumen

En este artículo se presenta un estudio sobre las concepciones de un grupo de alumnos universitarios acerca de los conceptos de diferencia de potencial (ddp) y fuerza electromotriz (fem). Dicho estudio se lleva a cabo mediante el uso de la metodología de Estudio de Caso y el análisis de datos llevado a cabo mediante el método de Codificación y Análisis de Contenido. La encuesta fue diseñada para revelar las características ontológicas de sus concepciones. Los participantes en esta investigación son la totalidad de los alumnos que estaban cursando una asignatura de electromagnetismo básico de nivel universitario. Las explicaciones de los estudiantes revelan categorizaciones ontológicas incorrectas de estos conceptos o la asignación de atributos ontológicos falsos. Este análisis arroja alguna luz acerca de posibles estrategias de enseñanza que pueden ser diseñadas para lograr el cambio conceptual, teniendo en cuenta las dificultades asociadas a la categorización ontológica incorrecta de los conceptos.

**Palabras clave:** diferencia de potencial, fem, ontología, aprendizaje

### Ontological categorization problems in university students' conceptions about potential difference and emf

#### Abstract

This article presents a study on the conceptions of a group of university students about the concepts of potential difference and electromotive force (emf). The study is carried out through the use of the Case Study methodology and the data analysis was carried out through the Coding and Content Analysis method. The survey was designed to reveal the ontological characteristics of their conceptions. The participants in this research are all the students who were taking a basic electromagnetism course at the university level. Students' explanations reveal incorrect ontological categorizations of these concepts or the assignment of false ontological attributes. This analysis sheds some light on possible teaching strategies that could be designed to achieve conceptual change, taking into account the difficulties associated with incorrect ontological categorization of concepts.

**Keywords:** potential difference, emf, ontology, learning

### Problèmes de catégorisation ontologique dans les conceptions des étudiants universitaires sur la différence de potentiel et la fem

#### Résumé

Cet article présente une étude sur les conceptions d'un groupe d'étudiants universitaires sur les concepts de différence de potentiel et de force électromotrice (fem). L'étude est réalisée à l'aide de la méthodologie de l'étude de cas et l'analyse des données a été réalisée à l'aide de la méthode de codage et d'analyse de contenu. L'enquête visait à révéler les caractéristiques ontologiques de leurs conceptions. Les participants à cette recherche sont tous les étudiants qui suivaient un cours de base en électromagnétisme au niveau universitaire. Les explications des élèves révèlent des catégorisations ontologiques incorrectes de ces concepts ou l'attribution de faux attributs ontologiques. Cette analyse met en lumière les stratégies d'enseignement possibles qui pourraient être conçues pour réaliser un changement conceptuel, en tenant compte des difficultés associées à une catégorisation ontologique incorrecte des concepts.

**Mots clés:** différence de potentiel, emf, ontologie, apprentissage

# Problemas de categorización ontológica nas concepções de estudantes universitários sobre diferença de potencial e fem.

## Resumo

Este artigo apresenta um estudo sobre as concepções de um grupo de universitários sobre os conceitos de diferença de potencial e força eletromotriz (fem). O estudo é realizado através da utilização da metodologia de Estudo de Caso e a análise dos dados foi realizada através do método de Codificação e Análise de Conteúdo. A pesquisa foi projetada para revelar as características ontológicas de suas concepções. Os participantes desta pesquisa são todos os alunos que estavam cursando um curso básico de eletromagnetismo no nível universitário. As explicações dos alunos revelam categorizações ontológicas incorretas desses conceitos ou a atribuição de falsos atributos ontológicos. Esta análise lança alguma luz sobre possíveis estratégias de ensino que poderiam ser desenhadas para alcançar a mudança conceitual, levando em consideração as dificuldades associadas à categorização ontológica incorreta de conceitos.

**Palavras-chave:** diferença de potencial, fem, ontologia, aprendizado

## 1. INTRODUCCIÓN

El concepto de fuerza electromotriz (fem) es fundamental para comprender el funcionamiento de circuitos eléctricos y el de inducción electromagnética. Si el tema de circuitos eléctricos simples se desarrolla antes que el de electromagnetismo básico, el tratamiento detallado del concepto de fem se ve relegado hasta los desarrollos teóricos que involucran fuerzas y campos conservativos y no conservativos. En este caso, al enseñar circuitos eléctricos simples la fem pasa a ser un mero símbolo que se coloca en el esquema de dichos circuitos y la diferenciación entre fem y diferencia de potencial (ddp) se hace difusa.

En el estudio del electromagnetismo básico, cuando se calcula la circulación de campos electrostáticos y ese cálculo da cero, se establece que esos campos son conservativos y, asociado con ellos, se define potencial y diferencia de potencial eléctrico. Sobre este tema se realizan generalmente muchos problemas de aplicación para lograr el uso adecuado de estos conceptos. Sin embargo, es común que el caso de la circulación de un campo eléctrico no nula sea tratado resumidamente y no se realicen problemas de aplicación en los cuales se reafirme el carácter no conservativo del campo en esta situación correspondiente a la definición de fem.

Como se mostrará a continuación, en el aprendizaje de los conceptos de fem y ddp se han detectado numerosos problemas. En este trabajo el abordaje de estas dificultades de aprendizaje será realizado desde una perspectiva ontológica, permitiendo así la caracterización de la naturaleza que los alumnos asignan a los conceptos de fem y

ddp luego de aprenderlos en un curso universitario.

## 2. ESTADO DEL ARTE

El aprendizaje de los conceptos de fem y ddp han sido estudiados en diversos artículos de revistas científicas. Se ha argumentado, por ejemplo, a favor de introducir estos conceptos tempranamente en la electrostática (Fernández, Jardón, Tabares y Milicic, 2015). Otras investigaciones en Enseñanza de la Física han centrado su atención en las dificultades de aprendizaje relacionadas con estos conceptos cuando los alumnos aprenden a trabajar con circuitos simples de corriente continua. Varios estudios concluyen que los alumnos tienden a utilizar el concepto de corriente como concepto primario en el caso de circuitos sencillos, estando el concepto de diferencia de potencial (ddp) relegado a los casos en que se fuerza a los alumnos a utilizarlo a través de preguntas concretas sobre el tema (Carlton, 1999). Muchas de las fallas en la comprensión de los estudiantes se atribuyen a un razonamiento local según el cual, un cambio en una parte de un circuito no afecta el funcionamiento de otra parte del mismo circuito (Shaffer y Mc Dermott, 1992; Millar, 1993, Pocoví y Hoyos, 2003). En varios trabajos se denuncia una falta de discriminación entre los conceptos de corriente y voltaje (Velazco y Salinas, 1999), problema que persiste en alumnos que están finalizando el profesorado (Guisasola, Montero y Fernández, 2005). También se han investigado problemas epistemológicos propios de la enseñanza tradicional de estos conceptos (Furió, y Guisasola, 1998; Jiménez Gómez y Fernández Durán, 1998) y las técnicas de resolución de problemas utilizadas por los

alumnos (McMillan y Swadener, 1991).

Existen trabajos de investigación que se centran en detalles de gran importancia en las definiciones de los conceptos de ddp y fem, que son muchas veces pasados por alto durante la enseñanza y en los textos utilizados (Page, 1977; Jiménez Gómez y Fernández Durán, 1998; Pocoví y Hoyos, 2004; Tankersley y Mosca, 2008; Fernández, et al., 2015). Así, se ha detectado que muchos libros de física básica definen a la fem como la causa de la diferencia de potencial entre las terminales de una batería y no hacen mención de ésta como debida a acciones no electrostáticas (Page, 1977). La omisión de aclarar que el campo involucrado en la generación de la fem no es electrostático, acarrea problemas cuando se trata el tema de la fem debida al movimiento relativo de un conductor y un campo magnético en cursos superiores (Hoyos y Pocoví, 2020). En este caso, las presentaciones de algunos textos pueden llevar al lector a interpretar erróneamente que es un campo electrostático el que tiene una circulación no nula (Tankersley y Mosca, 2008). Pocoví y Hoyos (2004) realizaron un estudio preliminar con alumnos universitarios de física avanzados en carreras de Ciencias Exactas y graduados en el cual detectaron serios problemas de comprensión de los conceptos de ddp y fem que atribuyeron a una incorrecta clasificación ontológica de estos conceptos. Cabría preguntarse si los problemas detectados en sujetos que de alguna manera pueden considerarse expertos, existen también entre los alumnos que han estudiado recientemente las definiciones formales de ddp y fem.

### 3. MARCO TEÓRICO

De la revisión bibliográfica anterior, se puede notar que la explicación de qué estructuras de ideas y qué mecanismos provocan las concepciones erróneas detectadas acerca de ddp y fem, es un tema que todavía no ha sido desarrollado en su totalidad para el caso de alumnos universitarios que ya han aprendido las definiciones formales en un contexto más general que aquel de circuitos de corriente continua, como lo es el de la electrostática.

El presente 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, 2005, 2008, 2013) y en Chi, Slotta y Leeuw (1994). Para mostrar al lector los puntos más salientes del marco adoptado, se presenta un resumen que 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 de tipo Materia (o Entidad), Proceso, Evento, Estados Mentales, entre otras (notar que a las categorías ontológicas las indicaremos con mayúscula). Mientras la mayoría de los conceptos en Física pertenecen a la categoría Proceso (Chi, 2013), es común que los estudiantes asimilen los conceptos físicos a una categoría errónea, por ejemplo Materia, o a la categoría correcta de Proceso pero de características falsas que no son compatibles con el concepto científico (Chi, 2008; Henderson, Langbeheim y Chi, 2017). El primer caso es referido como la asignación ontológica inadecuada y el segundo caso es nombrado como la asignación del concepto a una categoría lateral. Ambos casos corresponden a concepciones que, una vez adquiridas, son resistentes al cambio.

Los atributos ontológicos asociados con una cierta categoría son la clave para saber si un concepto pertenece a ella 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, para determinar a qué categoría ontológica pertenece el concepto de “partícula cargada”, podemos intentar predicarlo con el atributo “sucede rápido” característico de los Eventos o con el atributo “está feliz”, característico de los Estados Mentales. En ninguno de los dos casos se forma una oración con sentido, de manera que podemos concluir que “partícula cargada” no pertenece a la categoría Eventos ni a la categoría Estados Mentales. Además, podemos comprobar que este concepto pertenece a la categoría “Materia o Entidad” porque los atributos asociados con esta categoría, como ser “empujable”, “contenible”, “trasladable”, entre otros (Reiner, Slotta, Chi y Resnick, 2000), pueden formar una oración con sentido cuando se usan como predicados de “partícula cargada”.

En el caso de ddp y fem, estos conceptos no pertenecen a la categoría Materia: hablar de ellos como “empujables”, “contenibles” o “trasladables” no tiene sentido. Uno de los problemas detectados en Pocoví y Hoyos(2003)entre alumnos que han aprendido ddp y fem en situaciones sencillas de circuitos simples es la identificación de estos conceptos con cargas. Dicha identificación 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 está 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 que ésta sea amarilla. En cambio, si se predica silla con “termina en una hora” (atributo ontológico de la categoría ontológica Eventos) se obtiene una frase sin sentido. Lo mismo sucede en el caso de conceptos tipo Proceso. Para ilustrar, la aceleración que relaciona un cambio de velocidad en un intervalo de tiempo ha sido probada como perteneciente a la categoría de Proceso (Ledezma, 2013). Es común que los estudiantes asocien cualquier movimiento en la dirección vertical, como por ejemplo, un drone que baja verticalmente controlado por un motor, con aquel que corresponde a una caída libre en el cual la aceleración es la de la gravedad. Si un estudiante describe esta situación con la frase “la aceleración del drone tiene un valor de  $9,8 \text{ m/s}^2$ ” se obtiene una frase falsa, a pesar de que la ontología que se asocia con la aceleración de ese movimiento es de tipo Proceso. En cambio, decir que “la aceleración del drone es de  $10 \text{ kg}$ ”, constituye una frase sin sentido pues se ha predicado la aceleración con un atributo tipo Materia. Tampoco tendría sentido decir que la “aceleración del drone es de  $9,8 \text{ m/s}$ ” ya que, a pesar de que la velocidad también es un Proceso, éste pertenece a una categoría paralela (es otro Proceso) y se está predicando al concepto aceleración de forma errónea. Así, Chi (2008) distingue entre el caso en el que se asigna a un

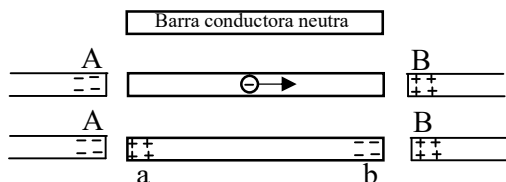
concepto, atributos falsos pero pertenecientes a la categoría y rama ontológica del concepto científico y el caso en el que se asigna a un concepto, atributos que pertenecen a una categoría lateral o a un árbol ontológico distinto. A los dos últimos casos mencionados, Chi (2008) los denomina “errores de categorización” (p. 70) y son los que generan concepciones que son robustas al cambio.

La caracterización de la categoría de conceptos tipo Proceso fue evolucionando con el desarrollo de la Teoría creada por Chi. Así, los Procesos llegaron a describirse en función de los mecanismos causales en los cuales se distinguen patrones globales de flujo y componentes de dichos patrones (Chi, 2005, 2008, 2013). Más aún, los Procesos se dividieron en dos tipos: Directos y Emergentes que se diferencian en el mecanismo que causa el patrón de flujo y en el comportamiento o la función de las componentes.

La ontología del concepto de fem fue analizada en Hoyos y Pocoví (2020) para un caso de fem inducida en el cual se concluyó que la fem pertenece a la categoría de Proceso Directo. Ya que el concepto físico de fem es el mismo que el considerado en el presente trabajo, tomaremos la clasificación ya realizada.

Para determinar a qué categoría ontológica pertenece el concepto de ddp, se puede considerar la situación particular que fue planteada en la primera parte de la encuesta a los alumnos. Si se analiza los distintos momentos de la secuencia de esta situación física, se puede decir que el momento inicial corresponde a la barra conductora, eléctricamente neutra. En esa situación, macroscópicamente, es posible considerar que las cargas que constituyen ese material están en reposo y que no existe campo eléctrico. Un instante posterior, se acercan dos varillas cargadas (A y B) con signos opuestos, como muestra el dibujo. En esa situación, sobre las cargas dentro de la barra conductora actúan fuerzas eléctricas debido a los campos generados por las cargas en A y B lo que produce que las cargas en el interior de la barra se desplacen hacia los extremos a y b. Este flujo de cargas se produce hasta que el sistema llega a un estado de equilibrio en el cual el campo eléctrico en el conductor es nulo, el potencial es constante y la diferencia de potencial entre a y b es cero. En esta situación de

equilibrio, la barra conductora tiene cargas de signos opuestos en sus extremos a y b.



La descripción realizada precedentemente muestra que para crear esta diferencia de potencial (en este caso, nula) se necesita de un patrón global de flujo donde las componentes son las cargas y el campo. La existencia de este patrón nos permite clasificar a la diferencia de potencial como un concepto tipo Proceso. Además, la secuencialidad y el vínculo o interacción entre el movimiento de las cargas y el campo permiten afirmar que se trata de un Proceso Directo.

En esta investigación, adherimos a una hipótesis de trabajo sostenida por Chi (1992, 2005, 2008 y 2013) que establece que una categorización ontológica equivocada implica que el estudiante no posee un conocimiento adecuado del concepto. En varios trabajos (Slotta y Chi, 2006; Reiner, et al., 2000; Pocoví y Finley, 2002; Henderson et al., 2017), 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 (Pocoví y Hoyos, 2003) mostró que muchos alumnos de un curso universitario introductorio acerca de circuitos sencillos poseen ideas materiales de estos conceptos.

Cabe preguntarse si los alumnos que se encuentran cursando una materia de electromagnetismo básico, que incluye en el temario definiciones formales de ddp y fem, poseen ideas materiales de estos conceptos y en qué forma estas ideas afectan la interpretación de situaciones físicas.

#### 4. METODOLOGÍA

El presente trabajo constituye un Estudio de Caso en el cual se investigaron las ideas que poseen

alumnos de un curso de electromagnetismo básico acerca de ddp y fem, una vez que dichos conceptos han sido estudiados en el contexto de electrostática y electrodinámica. Si bien la definición exacta de Estudio de Caso es “elusiva e innecesaria”, tal como lo expresan Cohen, Manion y Morrison (2018, p. 375), la presente investigación definió como la unidad de estudio, al grupo de alumnos antes mencionado que constituyen un ejemplo único de personas reales en situaciones reales, condición característica de esta metodología que no tiene por objetivo la generalización. Más aún, esta investigación corresponde a un tipo de Estudio de Caso instrumental, según lo definido por Stake (2005) en el cual se examina un caso particular para ganar conocimiento acerca de un asunto: en este trabajo, el caso a estudiar está constituido por las ideas que poseen los alumnos acerca de ddp y fem después de haber estudiado estos conceptos y se desea ganar conocimiento acerca de la ontología que los alumnos asignan a éstas.

El grupo de estudiantes participantes, constituyen la totalidad de alumnos (54) de una cohorte de la asignatura Física II (electromagnetismo básico) perteneciente a las carreras de Licenciatura en Física y Licenciatura en Química de la Universidad Nacional Salta. La formación previa requerida para cursar esta asignatura está dada en dos cursos de matemática, uno de Física introductoria y uno de Mecánica básica (Física I). La forma en la que los temas fueron presentados a los alumnos consiste en la asistencia a una clase teórica de tipo expositiva y la resolución de ejercicios y problemas en las clases prácticas bajo la guía y supervisión de los auxiliares de docencia a cargo. El contenido es presentado a partir de la bibliografía de la asignatura que incluye como cuatro referencias destacadas (según los docentes) los libros de texto de Alonso y Finn (1977), Resnick y Halliday (1982), Sears, Zemansky, Young y Freeman (1999) y Serway (1999). Al momento de participar en este estudio, los alumnos habían rendido el examen parcial de estos temas en la semana anterior a contestar la encuesta elaborada para esta investigación.

Más específicamente, los alumnos que participaron en este trabajo ya aprobaron una asignatura de Física introductoria en la cual se resuelven circuitos simples. En este tipo de circuito las pilas son presentadas como los

elementos (fem) que entregan la energía. Como este curso corresponde al primer cuatrimestre del primer año, no se formaliza la definición y la fem se reduce a un símbolo específico en el circuito. Además, la ddp se introduce a partir de la ley de Ohm, de una manera operativa.

La asignatura que se encuentran cursando los participantes de este estudio es Física II y en las clases teóricas, se define la diferencia de potencial entre un punto  $a$  y otro punto  $b$  como  $\Delta V = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$  siendo el campo eléctrico, conservativo. El carácter conservativo del campo, se probó calculando la circulación del campo (integral en un circuito cerrado) y verificando que ésta es nula. Durante el cursado también se desarrollaron ejemplos en los cuales se producían cargas inducidas mediante el establecimiento de campos eléctricos externos a un conductor. También se realizaron cálculos de la ddp para distintas geometrías entre las que se consideraron placas infinitas. En cuanto al concepto de fem, éste se definió como  $fem = \varepsilon = \oint \vec{E}_{nc} \cdot d\vec{l}$  donde  $\varepsilon$  es la fuerza electromotriz,  $\vec{E}_{nc}$  es el campo eléctrico no conservativo y el  $d\vec{l}$  es el diferencial del circuito cerrado sobre el que se realiza la integral. Este tema se desarrolla con esta profundidad sólo en la clase teórica durante el desarrollo de la unidad de Electroestática. Tanto en las clases teóricas como en las prácticas, el concepto de fem es retomado cuando se introduce la inducción electromagnética, para analizar la fem inducida.

Para conocer las concepciones de los alumnos acerca de los conceptos de ddp y fem se diseñó un cuestionario de preguntas abiertas (Cohen et al., 2018) de manera de no encasillar las respuestas en opciones predeterminadas pues en la teoría seleccionada para clasificar sus respuestas, los predicados utilizados al armar oraciones con estos conceptos son de fundamental importancia para determinar la ontología asignada.

Para el análisis de las respuestas se seleccionó el método de Codificación y Análisis de Contenido del tipo Dirigido, tal como lo definen Cohen et al. (2018) pues, se codificaron y analizaron las respuestas dadas por los estudiantes categorizando ontológicamente sus ideas en base a los predicados utilizados por los alumnos con los conceptos de ddp y fem.

## 4.1 Cuestionario

El cuestionario fue diseñado con el propósito de revelar las características ontológicas de las concepciones de ddp y de fem de los participantes y constó de dos partes, cada una de las cuales incluye, a su vez, dos situaciones. Estas situaciones se diseñaron de forma tal que parecieran equivalentes desde una concepción material de ddp y fem, pero que no lo fueran desde el punto de vista científico correcto.

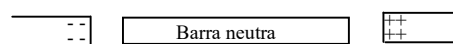
En la primera parte, la situación A1 involucra una ddp obtenida a partir de un campo electrostático (o sea, conservativo) producido por una distribución de cargas inducidas. La situación B1 involucra una fem que, por supuesto, es producida por algún campo no conservativo representado como una pila en el circuito.

En la segunda parte, la situación A2 involucra una ddp obtenida a partir de un campo electrostático producido por placas infinitas cargadas mientras que la situación B2 muestra el esquema de una fuente (fem) con sus terminales de potencial alto y bajo, comúnmente llamados positivo y negativo.

A continuación, se muestra el cuestionario presentado a los alumnos. El formato original difiere en el tamaño y ubicación de los dibujos y el espacio existente entre preguntas para permitir las respuestas de los alumnos.

### 4.2 Primera parte

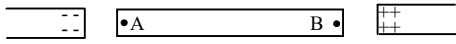
**Situación A1:** Se tiene una barra conductora eléctricamente neutra. Por uno de sus extremos se le acerca una barra cargada positivamente y por el otro, una cargada negativamente, como se muestra en la figura.



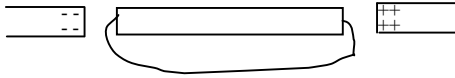
i) En el esquema que sigue, dibujar y explicar cómo se distribuyen las cargas en la barra conductora neutra.



ii) ¿Cuál es la diferencia de potencial entre los puntos A y B en los extremos de la barra? Explícite el razonamiento seguido para contestar esta pregunta.

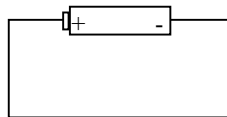


iii) Si conecto un cable que une los dos extremos de la barra como se muestra en la figura, ¿qué sucede? ¿Porqué?



La respuesta correcta a la situación A1 se presenta a continuación. Al acercar las barras cargadas a la barra neutra, las cargas en el interior de ésta se mueven debido a la presencia del campo eléctrico externo. Esta situación continua hasta que el campo eléctrico adentro del conductor se anula debido al campo creado por las cargas inducidas en la barra, de sentido opuesto al externo. Así, la distribución de las cargas en la barra conductora resulta en una acumulación de cargas negativas del lado derecho del esquema y una falta de cargas negativas del lado izquierdo (lo cual equivale a estar cargado positivamente). La ddp entre los puntos A y B es nula debido a que el campo eléctrico es nulo en el interior del conductor. Al conectar un cable en los extremos en donde hay cargas a un mismo potencial, no hay campo eléctrico en el cable y, por lo tanto, no hay cambio en la distribución de carga obtenida previamente.

**Situación B1:** Supongamos que se cortocircuita una pila (como se muestra en la figura siguiente)

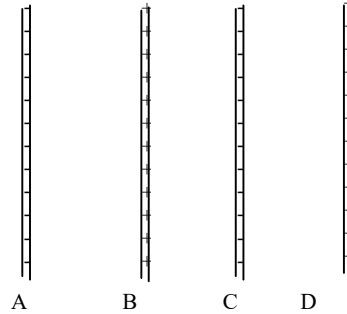


Esta situación, ¿es equivalente a la planteada en el inciso iii) de la situación A1? ¿Porqué? Explícite su respuesta.

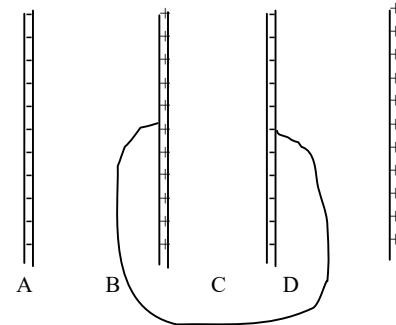
La respuesta correcta a la pregunta planteada es que esta situación no es equivalente a la planteada en el inciso iii) de A1 pues los extremos de la pila están a una ddp distinta de cero. La pila genera una fem debido a un campo eléctrico no conservativo en su interior. Debido a esta fem, los extremos del cable se encuentran a una ddp distinta de cero lo que hace que exista un campo eléctrico en el cable, produciendo una circulación de cargas.

### 4.3 Segunda parte

**Situación A2:** Se tienen cuatro placas infinitas (A, B, C y D) cargadas con densidad de carga  $+\sigma$  y  $-\sigma$ , dispuestas de la forma que se muestra en la figura. Se puede demostrar que el campo eléctrico en la región entre las dos placas del medio (B y C) es cero.

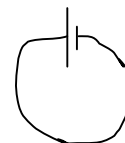


- ¿Cuánto vale la diferencia de potencial entre las placas internas?
- Explicar qué sucede si conecto las placas internas con un cable conductor como semuestra en la figura



La respuesta correcta a la situación A2 se presenta a continuación. Como el campo eléctrico es cero entre las placas internas, la ddp entre ellas es cero. Por esta razón, no circularán cargas por el cable al conectarlo entre B y C.

**Situación B2:** Supongamos que se conectan los bornes de una batería o fuente por medio de un cable conductor, como se muestra en la figura. Esta situación, ¿es equivalente a la planteada en el inciso ii) de la situación A2? ¿Porqué? Explícite su respuesta.



La respuesta a esta situación es igual a la

enunciada para la situación B1.

Como se puede apreciar, las dos partes de la encuesta, corresponden a situaciones análogas en cuanto a los fenómenos físicos intervinientes. En las dos partes, las situaciones electrostáticas (A1 y A2) se eligieron de manera tal que cargas de signos opuestos estuvieran a un mismo potencial por encontrarse en una región de campo nulo. La elección de tales situaciones estuvo basada en el hecho que una concepción tipo Materia de la diferencia de potencial podría estar caracterizada por la asociación de potencial más alto con el signo de las cargas, como se ha detectado en alumnos que han estudiado estos conceptos sólo en el marco de circuitos eléctricos simples (Pocoví y Hoyos, 2003). Sin embargo, las situaciones planteadas en ambas partes se diferencian en un aspecto. En la primera parte, situación A1, las cargas inducidas (positivas y negativas) se hallan al mismo potencial por encontrarse adentro de un conductor. El hecho de que el campo eléctrico adentro del mismo es cero no es explicitado. En la segunda parte, situación A2, las cargas positivas y negativas de ambas placas se encuentran en una región de campo nulo, como se explicita en el enunciado. Las geometrías de los esquemas que representan a la fem (pila en la B1 y fuente en B2) son parecidas a aquellas elegidas para la situación de campo electrostático (barra y placas). Esta característica, que puede ser distractora, es irrelevante si el sujeto concibe a estos conceptos como Procesos.

Se debe realizar una aclaración. En el análisis ontológico realizado tanto para la fem como para la ddp llegamos a determinar específicamente de qué tipo de Proceso se trata (en ambos casos, Proceso Directo). El diseño de la encuesta, sin embargo, fue realizado para revelar ideas tipo Proceso o Materia en los estudiantes, sin importar, en el caso de Proceso, de qué tipo se trata (Directo o Emergente). Esta decisión fue tomada en base a que el material didáctico utilizado en las clases prácticas del curso tomado por los participantes (bibliografía, trabajos prácticos, clases teóricas) no hace especial hincapié en el análisis formal de estos conceptos y se limita al uso de éstos en situaciones prácticas.

Los resultados fueron analizados por las dos investigadoras involucradas en base a un protocolo y las disidencias fueron revisadas en

forma conjunta para llegar a un acuerdo.

## 5. RESULTADOS

Las respuestas de los estudiantes a las distintas preguntas fueron analizadas en dos instancias. En la primera, las respuestas fueron separadas de acuerdo a la conclusión a la que el alumno llega acerca del valor de la ddp entre los puntos indicados y acerca de la equivalencia o no de las situaciones A1 y B1 en la primera parte y A2 y B2, en la segunda parte.

En la Parte I, situación A1, la mayoría de los participantes explicaron correctamente la inducción de cargas que se produce en la barra conductora. Como se verá más adelante, este hecho no asegura que los sujetos asocien la inducción con la necesidad de campo nulo adentro de un conductor.

Las respuestas a la pregunta acerca del valor de la diferencia de potencial entre los puntos A y B en la primera parte de la encuesta (A1) y entre las placas interiores en la segunda parte (A2), correspondieron a tres tipos: ddp nula ( $\Delta V = 0$ ), potencial de las cargas positivas mayor que el de las cargas negativas (que se simbolizará como  $V > V_-$ ) e inconclusas (que se simbolizarán como inconclusas (DV) para indicar que son inconclusas respecto del valor de la ddp). En esta última categoría se incluyeron tanto aquellas respuestas que no tenían la suficiente coherencia para ser comprendidas como también las respuestas en blanco.

Las conclusiones que los alumnos sacaron acerca de la equivalencia o no de la distribución electrostática de carga y la fem se dividieron en las siguientes categorías: equivalentes, distintas e inconclusas (para indicar que son inconclusas respecto de la equivalencia o no de las situaciones, las llamaremos inconclusas(eq)).

Desde un punto de vista ingenuo, se podría suponer que los alumnos que contestaron que la ddp era nula entre A y B en la Parte I, situación A1, del cuestionario o entre las placas internas en la parte II, situación A2, seguirían la secuencia natural de afirmar que las cargas no circulan por el cable y por lo tanto, la situación A1 no sería vista como equivalente con B1 y la situación A2 no sería interpretada como equivalente con B2.



Sin embargo, ya que esta secuencia esperada no se condice con la realidad, se presentan las figuras 1 y 2 que son gráficos de contingencia que muestran el tipo de conclusión a la que se llega respecto a la equivalencia o no de ambas situaciones, junto con el tipo de respuesta dada respecto de la ddp entre cargas de distinto signo y en presencia de campo cero. La Figura 1 corresponde a las respuestas en la Parte I del cuestionario y la Figura 2 corresponde a la Parte II de éste.

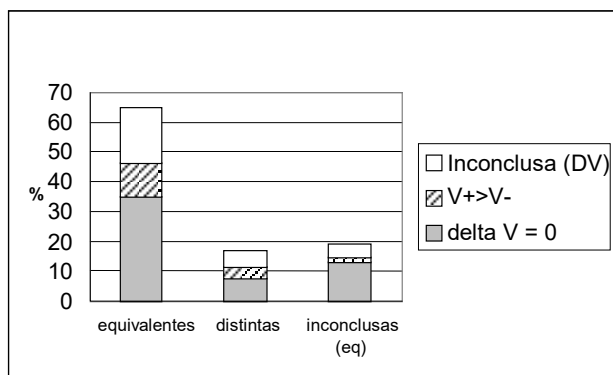


Figura 1. Gráfico de contingencia entre respuestas referidas a la equivalencia de ambas situaciones y las referidas a la ddp. Parte I.

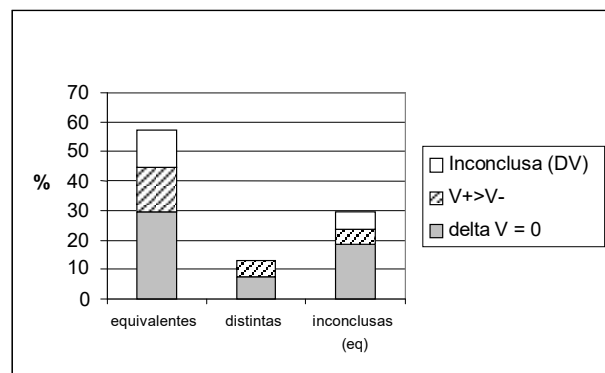


Figura 2. Gráfico de contingencia entre respuestas referidas a la equivalencia de ambas situaciones y las referidas a la ddp. Parte II.

Se puede apreciar que el hecho de dar como dato  $\vec{E} = 0$  en la región del sistema analizado en la segunda parte del cuestionario, no parece cambiar el porcentaje de respuestas dadas a favor de la categoría Delta V = 0, como podría esperarse sino más bien parece disminuir la cantidad de respuestas inconclusas en este sentido para sumarlas a la categoría V+>V-.

Como se puede apreciar, la idea de que una distribución electrostática de cargas opuestas y al mismo potencial es equivalente a una fem es la que predomina en las dos partes del cuestionario. Además, el hecho que algunos sujetos hayan concluido que las situaciones son equivalentes a un estableciendo que Delta V = ΔV = 0 pareciera ser incoherente desde el punto de vista científico. Sin

embargo, si se estudia la ontología que subyace las explicaciones dadas por los alumnos, dicha incoherencia desaparece. Este es el análisis que se realizó en segunda instancia.

En la segunda instancia de la evaluación se llevó a cabo el análisis desde el punto de vista ontológico de las explicaciones de los estudiantes. En este sentido, las afirmaciones de los estudiantes se asignaron a categorías ontológicas que coinciden con aquellas definidas en la teoría de categorías ontológicas de Chi (1992, 2005, 2013) como se muestra en la Tabla 1.

Tipo de Concepto	Característica	Ejemplos
ddp tipo Materia	Se identifica diferencia de potencial con acumulación de cargas de distinto signo.	- "Delta V depende de la cantidad de cargas que la barra tenga en cada lado. Sí, es la misma. Delta V = 0" - "Si son cargas opuestas se deben restar así que Delta V = 0" - "La ddp en los extremos será la diferencia que hay entre las cargas o sea que es cero"
ddp tipo Proceso falso	Se identifica "diferencia de potencial" con "diferencia de signos entre cargas".	- "Las cargas positivas van a estar a mayor potencial que las negativas." - "El potencial positivo es el de las cargas positivas y el otro el negativo" - "Cuando vaya de A a B el campo es cero así que no se realiza trabajo pero las cargas negativas están a un potencial menor." - "Lo que pasa es que las cargas de los planos son de distinto signo así que las positivas van a estar como más arriba"
ddp tipo Proceso correcto	Se identifica la diferencia de potencial entre dos puntos como Δ $V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{l}$	- "El campo es nulo adentro de un conductor así que $-\int \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 = \Delta V$ ."
fem tipo Materia	Se identifica fem con acumulación de cargas de distinto signo.	- "La pila son cargas positivas y negativas en sus bornes lo que hace que tiendan a juntarse y circule corriente." - "La pila es como una barrita con cargas + siempre en un extremo y - en el otro." - "La pila es como un condensador" - "Las dos situaciones son equivalentes si la cantidad de cargas opuestas en la pila es la misma que la de la barra" - "La fuente actúa como la fem en donde tengo un poco de cargas positivas y negativas y al conectarla, se reúnen."
fem tipo Proceso falso	Se identifica "fem" con proceso de atracción electrostática de cargas.	- "La pila es lo mismo que la barra, aunque nunca lo experimenté. Las cargas se atraen y se unen." - "Las cargas + del lado + [en la fuente] atraen a las - del otro lado y se genera una corriente."

		- “En definitiva en la fuente tengo cargas positivas y negativas y se atraen.”
fem Proceso correcto	Una fem es generada por un campo no electrostático.	- “Las situaciones son distintas porque una pila genera una fem (fuerza electromotriz) que se produce por un campo no electrostático.”

Tabla 1. Características de la ontología de las ideas de los estudiantes acerca de ddp y fem

Cabe notar que, desde el punto de vista ontológico, identificar ddp con acumulación de cargas de distinto signo es distinto que asignar el valor del signo de las cargas en un punto al potencial en ese punto. Lo primero implica una identificación directa entre ddp y cantidad de cargas lo cual implica entender al concepto de ddp como de tipo Materia ya que “es acumulable”, “es trasladable”, “contiene”, etc. Lo segundo identifica el signo del potencial con el signo de las cargas y es por eso que “el potencial de las cargas positivas es positivo” no ha sido clasificado como concepto de tipo Materia sino como un atributo (falso) correspondiente a un ente (función potencial) tipo Proceso, lo cual resulta en un Proceso falso. Una situación análoga se plantea en el caso de fem. Notar que la conclusión correcta de que  $\Delta V=0$  en las situaciones A1 y AII de ambas partes de la encuesta puede ser “deducida” en base a una idea equivocada de la ontología del concepto de potencial, como lo muestran los ejemplos de la tabla. Esta situación, combinada con una idea material de fem, hace que la distinción entre los dos conceptos sea imposible.

Algo similar sucede en el caso en que el sujeto establece erróneamente que el potencial de las cargas positivas es mayor que el de las cargas negativas porque asocia el signo de las cargas con el signo del potencial. Además de errar en su respuesta, esos alumnos poseen una idea equivocada del proceso que implica tener una ddp. Esta idea combinada con la identificación de la fem con el proceso de atracción electrostática de cargas impide un reconocimiento de la diferencia entre los conceptos de fem y ddp. Estas concepciones que fueron detectadas luego de haber cursado electromagnetismo básico, constituirán las preconcepciones en los cursos de electromagnetismo más avanzados en su carrera. Según Chi (2008) la incorrecta categorización ontológica de los conceptos, es un impedimento grave para su aprendizaje ya que son concepciones robustas al cambio.

## 6. CONCLUSIONES

El análisis de la ontología subyacente a las explicaciones que dan los estudiantes, permite comprender situaciones que, a primera vista, parecieran incoherentes. Un ejemplo es el hecho que muchos alumnos establecen que  $\Delta V = 0$  en la distribución electrostática de cargas y luego afirman la equivalencia de esta situación con una en la que existe una fem. Al poseer una idea material de ddp y fem, asociando ambas con acumulación de cargas, la distinción entre ambos conceptos es imposible. Otro ejemplo de incoherencia aparente, si uno se limita a mirar sólo las conclusiones de los alumnos, se da entre aquellos alumnos que establecen que  $V+ > V-$  para una distribución electrostática de cargas en una región de campo nulo. Detrás de la mayoría de estas conclusiones se encuentra la idea de que el signo de la carga determina el signo del potencial con lo cual las cargas positivas estarán siempre a un potencial mayor que las negativas.

El conocimiento de la ontología de los conceptos es una parte importante del conocimiento cabal de los mismos. La enseñanza de la naturaleza de los conceptos no debería ser descuidada y debería acompañar las formalizaciones matemáticas de dichos conceptos. Según lo explicitan Chi et al. 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.” (p. 42).

Tanto el caso de la asignación del concepto de ddp y fem a la categoría Materia como el caso de su asignación a una categoría de tipo Proceso falso, corresponden a lo que Chi (2008) clasifica como “errores de categorización” que tienen la característica de ser concepciones robustas al cambio. Recordemos que estas concepciones han sido detectadas, en este trabajo, luego de haberlas aprendido en un curso básico de electromagnetismo de nivel universitario lo cual implica que éstas constituirán las ideas previas de los estudiantes en cursos avanzados. La situación descrita alerta sobre la importancia de la enseñanza y el aprendizaje de la ontología de los conceptos para lograr un conocimiento cabal de los temas. Para los casos en que los estudiantes presentan errores de categorización, Chi (2008) alerta que no es suficiente con la lectura de textos

que contengan oraciones que refuten sus ideas. Antes bien, aboga por la enseñanza de la categoría ontológica correcta (en nuestro caso, Proceso) para dar al estudiante herramientas que le permitan asociar el concepto a aprender a esa categoría. 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 importante de su enseñanza.

Este trabajo deja abierta la puerta para la indagación acerca de los efectos que podrían conseguirse, en cuanto al cambio conceptual de los estudiantes hacia las concepciones científicamente aceptadas, mediante el diseño y aplicación de nuevas propuestas didácticas para la enseñanza de los temas fem y ddp. Las mencionadas propuestas podrían tener un alto contenido ontológico que apuntara a identificar claramente los atributos que definen la naturaleza de estos conceptos.

## REFERENCIAS

- Alonso, M. y Finn, E. J. (1976). *Física. Volumen II: Campos y Ondas*. Bogotá: Fondo Educativo Interamericano S.A.
- Carlton, K. (1999). Teaching electric current and electrical potential. *Physics Education*, 34, 341-345.
- Chi, M. T. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. En R. Giere (Ed.) *Minnesota Studies in the Philosophy of Science: Vol XV*, (pp. 129-186). MN: U. of Minnesota Press.
- Chi, M. T. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14, 161-199.
- Chi, M. T. (2008). Three types of conceptual change. Belief revision, mental model transformation and categorical shift. En S. Vosniadu (Ed.) *Handbook of research on conceptual change*. (pp. 61-82). Hillsdale- N.J: Erlbaum.
- Chi, M. T. (2013). Two kind and four subtypes of misconceived knowledge way to change it, and learning outcomes. En S. Vosniadu, *International handbook of research on conceptual change*. (pp. 49-70). London: Routledge Handbooks.
- 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, L., Manion, L. y Morrison, K. (2018). *Research*
- Methods in Education. (8va ed.)*. London: Routledge.
- Furió, C. y Guisasola, J. (1998). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 18 (7), 511-526.
- Guisasola, J., Montero, A. y Fernández, M. (2005). Concepciones de futuros profesores de ciencias sobre un concepto «olvidado» en la enseñanza de la electricidad: La fuerza electromotriz. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (1), 47-60.
- Henderson, J. B., Langbeheim, E. y Chi, T. H. (2017). Addressing robust misconceptions through ontological distinction between sequential and emergent processes. En B. Sherin, T. G. Amin y O. Levrini (Eds.), *Converging perspectives on conceptual change: Mapping an emerging paradigm in the learning sciences* (pp. 26-33). NY:Routledge.
- Hoyos, E. y Pocoví, M.C. (2020). Análisis de la ontología de un concepto relativista: inducción electromagnética. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 15(2), 38-47. DOI: <https://doi.org/10.54343/reiec.v15i2.271>
- Fernández, P., Jardón, A., Tabares, I. y Milicic, B. (2015). Una investigación sobre la introducción temprana de la fem en electrostática. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27, (Nº Extra), 305-312.
- Jimenez Gomez, E. y Fernández Duran, E. (1998). Didactic problems in the concept of electric potential difference and an analysis of its philogenesis. *Science and Education*, 7, 129-141.
- Ledesma, L. y Pocoví, M. C. (2013) Ontología del concepto de aceleración: su comprensión mediante el aprendizaje a partir de textos. *Latin American Journal of Physics Education*. Vol 7, N° 1, marzo 2013. pp. 68-78.
- Mc 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.
- 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.
- Pocoví, M. C. y Finley, F. (2002). Lines of force: Faraday's and students' views. *Science & Education*, 11, 459-474.
- Pocoví, M. C. y Hoyos, E. (2003). Ontología de las concepciones de diferencia de potencial, corriente y fem de alumnos universitarios de Física. *Actas REF XIII*, Río Cuarto, Argentina.
- Pocoví, M. C. y Hoyos, E. (2004). Estudio de caso de la comprensión de la diferencia de potencial y fem en alumnos

avanzados y graduados en Física. *Investigacoes em Ensino de Ciencias*, 9 (3), 337-348.

Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M.T. y Resnick, L.B. (2000). Naive physics reasoning: a commitment to substance – based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18 (1), 1-34.

Resnick, R. y Halliday, D. (1982). *Física Parte2. (3° Ed.)*. México: Compañía Editorial Continental.

Sears F.W., Zemansky, M.W., Young, M.A. y Freeman, R.A. (1999). *Física Universitaria. Volumen 2. (9° Ed.)*. México: Pearson Educación.

Serway, R.A. (1999). *FÍSICA, Tomo II, (4° Ed.)*, México. D.F.: Mc. Graw Hill.

Shaffer, P. y Mcdermott, L. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60, 994.

Slotta, J. D. y Chi, M. T. (2006). Helping students

understand challenging topics in Science through ontology training. *Cognition and Instruction*, 24 (2), 261-289.

Stake, R. E. (2005). Qualitative case studies. In N. Denzin and Y. Lincoln (eds) *The Sage Handbook of Qualitative Research (3<sup>rd</sup> edition)* (pp. 443–66). Thousand Oaks, CA: Sage.

Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. y Resnick, L. (2000). Naive Physics Reasoning: A Commitment to Substance-Based Conceptions. *Cognition and Instruction*, 18 (1), 1-34.

Tankersley, L. y Mosca, E. (2008). *Introducing Faraday's law*. Physics Department United States Naval Academy.

Velazco, S. y Salinas, J. (1999). Dificultades de estudiantes universitarios en la comprensión de la noción de potencial eléctrico, *Actas de REF XI*, 240 – 245.