

USO DE LA REPRESENTACIÓN DE LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO POR PARTE DE PROFESORES DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

ESMERALDA CAMPOS

GENARO ZAVALA

TECNOLÓGICO DE MONTERREY

TEMÁTICA GENERAL: EDUCACIÓN EN CAMPOS DISCIPLINARES

RESUMEN

El uso de representaciones en la enseñanza de la física es un aspecto clave para el entendimiento de conceptos abstractos. En electricidad y magnetismo, debido a su alto nivel de abstracción, se requiere de una variedad de representaciones que pueden ser verbales, matemáticas, gráficas y diagramas. En específico, el concepto de campo eléctrico se puede representar por medio de diagramas, entre ellos, el diagrama de vectores y el diagrama de líneas de campo eléctrico. El presente estudio investiga cualitativamente las ideas que tienen los profesores sobre la representación de líneas de campo eléctrico. Se explora el uso que le dan a esta representación en la enseñanza de campo eléctrico y otros conceptos relacionados como flujo eléctrico. El uso que hacen los profesores de esta representación puede conllevar a que los estudiantes adquieran concepciones alternativas como la confusión entre los conceptos de campo y flujo eléctrico. Los resultados del estudio permitirán identificar las creencias que se transmiten de profesor a alumno.

Palabras clave: Enseñanza De La Física, Representación Mental, Conceptos, Creencias Del Profesor, Influencia Del Profesor

INTRODUCCIÓN

En ingeniería las habilidades de solución de problemas son necesarias para alcanzar el éxito. Al enfrentarse con un problema, la persona necesita interpretarlo y hacer sentido de este por medio de representaciones y la traducción entre ellas antes de plantear una solución (Goodwin, 2003). La importancia de las representaciones en la solución de problemas de ingeniería se encuentra en darle un sentido físico a la situación para poder plantear una solución. Sin embargo, los estudiantes de ingeniería no siempre realizan este proceso de solución de problemas, ya que recurren a fórmulas matemáticas en lugar de hacer representaciones cualitativas (Van Heuvelen, 1991). Ainsworth (2006) resaltó que los estudiantes tienden a interpretar las representaciones de manera intuitiva, donde se guían por el atributo visual más llamativo de la representación (*What-you-see-is-what-you-get*).

Se ha reportado que la representación de líneas de campo eléctrico afecta la aplicación del principio de superposición. Törnkvist, Petterson y Tranrömer (1993) encontraron que los estudiantes tratan a las líneas de campo eléctrico como si fueran reales. Sugieren que esta representación causa en los estudiantes una confusión que afecta su entendimiento sobre campo eléctrico. Campos y Zavala (2017) encontraron que el diagrama de líneas de campo eléctrico causa un efecto de bloqueo gráfico en el principio de superposición, debido a que los estudiantes interpretan lo que ven en el diagrama. Guisasaola, Almudi y Zubimendi (2004) encontraron que los estudiantes utilizan mucho la visualización de líneas de campo para explicar interacciones como repulsión y atracción entre líneas que “chocan” entre ellas.

Entre las dificultades de los alumnos respecto a ley de Gauss se encuentra que los estudiantes (1) no aplican el principio de superposición, ya que piensan que únicamente las cargas adentro de la superficie ejercen campo eléctrico, (2) utilizan la ley de Gauss para pensar que el campo eléctrico dentro de cualquier objeto hueco es cero, (3) se fijan en la simetría del objeto en vez de la simetría de la distribución de carga, y (4) tienden a confundir el campo eléctrico y el flujo eléctrico (Singh, 2006). Li (2012) encontró varias dificultades relacionadas directamente con la simetría; de la simetría geométrica del problema, de la simetría de la distribución de carga, y de qué tanta simetría se requiere para resolver para el campo eléctrico.

A partir de las dificultades encontradas en la literatura sobre campo eléctrico y ley de Gauss, se identifica la posibilidad de comprender si estas dificultades se deben a las representaciones que se utilizan para explicar estos conceptos abstractos. Como un primer paso, es necesario explorar las ideas de los profesores del curso de electricidad y magnetismo, ya que son ellos quienes deciden utilizar ciertas representaciones y enseñan a los alumnos a interpretarlas.

Los profesores transmiten sus ideas y creencias a los estudiantes, por lo que conocer sus ideas y acercamientos a los temas de campo eléctrico, flujo eléctrico y ley de Gauss, así como el uso de la representación de líneas de campo eléctrico en estos temas puede establecer una dirección para comprender las dificultades de los estudiantes. Hasta el momento no se han hecho estudios donde se

expongan las ideas y creencias de los profesores acerca de utilizar la representación de líneas de campo eléctrico para explicar los temas de campo eléctrico y flujo eléctrico, el cual es un componente fundamental de la ley de Gauss.

MÉTODO

La pregunta de investigación principal es ¿Cómo utilizan los profesores de electricidad y magnetismo la representación de líneas de campo eléctrico en sus explicaciones sobre dos conceptos básicos de electrostática como campo eléctrico y flujo? De esta pregunta se desprende una segunda pregunta de investigación: ¿Cómo afecta el tipo de instrucción y el uso de recursos que hace el profesor en clase sobre su uso de la representación de líneas de campo eléctrico? Estas preguntas se investigan con una metodología cualitativa de tipo fenomenológico (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado y Baptista-Lucio, 2010).

Participantes

Los participantes fueron profesores de electricidad y magnetismo de una universidad privada del norte de México. Se incluyeron tres profesores que dan clases para programas de ingeniería en general y uno para estudiantes en programa *Honors/Inglés*. Se utilizaron los siguientes seudónimos para identificar a los profesores: Santiago, Mario, Roberto y Gabriel. Santiago, Roberto y Gabriel tienen más de 25 años de experiencia docente y más de 10 años impartiendo el curso de electricidad y magnetismo. En cambio, Mario tiene menos de 10 años de experiencia docente y es su primer semestre impartiendo el curso de electricidad y magnetismo.

Instrumentos

La recolección de datos se realizó por medio de tres instrumentos: una entrevista semiestructurada, una guía de observación para clases y un análisis del libro de texto que se utiliza en el curso de electricidad y magnetismo en la universidad donde se llevó a cabo la investigación (Young & Freedman, 2012). Estos tres instrumentos permitieron analizar los datos de manera objetiva y asegurar la validez del estudio por medio de triangulación (Denzin y Lincoln, 2000). La triangulación de estos tres instrumentos compara los recursos prescritos por el programa, lo que ocurre en el salón de clases y lo que los profesores piensan sobre los temas básicos de electrostática.

Entrevista. La entrevista consta de seis preguntas sobre conceptos básicos de electrostática como campo eléctrico, principio de superposición, flujo eléctrico y ley de Gauss. Algunas preguntas se concentran en la representación de líneas de campo eléctrico y se le pide al profesor que interprete un diagrama. Las preguntas 1 y 3 exploran de manera indirecta los usos y las ideas de los profesores del diagrama de líneas de campo para la explicación de diferentes conceptos y sus interpretaciones sobre el mismo. Para este reporte de investigación se analizaron las explicaciones sobre campo y flujo eléctrico en la pregunta 1.

Guía de observación. La guía de observación consta de una página con instrucciones y la descripción del tipo de datos que se van a observar, así como de una tabla donde se desglosan estos

datos en distintas fases. Este esquema surgió de la expectativa de observar diferentes fases en una clase regular de un curso introductorio de electricidad y magnetismo, donde en cada fase se utilizan distintos recursos y el profesor o los alumnos actúan de manera distinta. La tabla consta de una columna de tipo de datos y cuatro columnas, una para cada fase.

Estrategia de análisis

Se realizó el análisis de datos en diferentes etapas, desde la transcripción de los datos, los diferentes niveles de codificación y el análisis de los códigos de los participantes y la coherencia de los mismos. Los datos recolectados se analizaron con un enfoque cualitativo en todas las etapas de la investigación.

Proceso de codificación de entrevistas. La codificación de entrevistas se realizó en varios niveles. En el primer nivel, conforme se transcribían las entrevistas, se iba detectando algunas palabras clave que ayudaron a formar los códigos iniciales. Como un segundo paso, se categorizaron las palabras clave a códigos genéricos que resumen la idea resaltada y se colocaron en columnas enseguida del segmento donde se encontraba esa idea. En el segundo nivel se formaron familias de esas palabras clave que proporcionaron profundidad y una estructura que fomenta la interacción entre conceptos. Se identificó la frecuencia de aparición de cada código por profesor y la cita textual a la que está asociado cada código.

Proceso de codificación de observaciones. Para realizar la codificación de observaciones se identificaron los tipos de datos que se tenía para cada apartado de la guía de observación. Se hizo la codificación en tablas distintas a las de la transcripción, donde se ubicó una columna para identificar el código, una columna para el contenido de la guía y una columna para el profesor. Como segundo nivel se agruparon los códigos con base en características similares para crear categorías. Este proceso se realizó para algunos aspectos de la guía, por ejemplo para los recursos utilizados por el profesor y el tipo de interacción que se dio en el aula entre profesor y alumnos. Algunos datos de la guía sirvieron para complementar la información y los códigos.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Explicaciones de los profesores sobre la definición del campo eléctrico y flujo eléctrico

Durante las entrevistas los profesores explicaron los conceptos de campo eléctrico y flujo eléctrico. Las explicaciones de los profesores sobre estos dos conceptos generaron un total de 20 códigos en el caso de campo eléctrico y 19 de flujo eléctrico. Como se observa en la Tabla 1, los profesores recurren mayormente a explicar el campo eléctrico por medio de los códigos “vector” con frecuencia de 8, “campo vectorial” y “Coulomb” de 7 cada una, “carga” de 11 y “fuerza eléctrica” de 10. En contraste, el código “líneas de campo” que es una de las representaciones tradicionales de campo eléctrico, ocurre únicamente 3 veces en todas las explicaciones, siendo que solamente Gabriel, Roberto y Mario lo mencionan. Es importante destacar que el código “campo vectorial” es utilizado únicamente por Santiago con alta frecuencia y que es el único profesor que no menciona “líneas de

campo” en su explicación. Estas explicaciones concuerdan con las explicaciones del libro de texto en cuanto al uso de “vector”, “carga” y “fuerza eléctrica”, sin embargo, el libro de texto sí dedica una parte de la explicación de campo eléctrico a los diagramas de líneas de campo eléctrico.

Tabla 1

Codificación de las explicaciones de los profesores acerca del concepto de campo eléctrico

Códigos/Frecuencias	Santiago	Gabriel	Roberto	Mario	Total
Vector	7			1	8
Campo vectorial	7				7
Distancia	2	1	1		4
Carga	2	4	3	2	11
Fuerza eléctrica	2	3	1	4	10
Tercera ley de Newton	1		1		2
Dirección	2		1	2	5
Repulsión	2		2	2	6
Coulomb	2	2	2	1	7
Partícula	2	1	2		5
Fenómeno	1	2			3
Movimiento	1				1
Modelo	3				3
Faraday	2				2
Carga prueba		4		1	5
Líneas de campo		1	1	1	3
Atracción			2	2	4
Sistema			1		1
Materiales			1		1
Caso genérico				2	2
Total	36	18	18	18	90

En la Tabla 2 se observan las codificaciones que surgieron a partir de las explicaciones de los profesores sobre el tema de flujo eléctrico. Los códigos que destacan en estas explicaciones son “líneas de campo” con frecuencia de 15, “vector área” de 14, “producto punto” de 10, “campo eléctrico” de 9 y “atravesar” de 8. Entre estos códigos se pueden encontrar dos grupos, los códigos “líneas de campo” y “atravesar” alude a la visualización de que el flujo eléctrico es la cantidad de líneas de campo eléctrico que atraviesa una superficie. El profesor Gabriel menciona que “esas líneas que están penetrando y atravesando el campo a través de cualquier superficie se le llama flujo eléctrico”. Por otra parte, los códigos “campo eléctrico”, “vector área” y “producto punto” aluden a la definición formal

del flujo eléctrico, dada por el profesor Santiago: “el flujo eléctrico es igual a la integral de superficie del campo eléctrico punto diferencial de área”.

Tabla 2

Codificación de las explicaciones de los profesores acerca del concepto de flujo eléctrico

Códigos/Frecuencia	Santiago	Gabriel	Roberto	Mario	Total
Fluido	2			2	4
Agua	2			1	3
Velocidad	7				7
Área	4		3	1	8
Variable	2				2
Vector	2	1			3
Diferencial	3				3
Integral de superficie	3				3
Dirección	1				1
Vector área	4	2		8	14
Producto punto	3	2		5	10
Coseno	2	2			4
Campo eléctrico	1	2	2	4	9
Electricidad	1				1
Líneas de campo		4	5	6	15
Atravesar		2	3	3	8
Perpendicular		2	1		3
Salen/Entran		2		4	6
Ángulo		2	2	1	5
Total	37	21	16	35	109

Estos códigos sugieren que los profesores asocian la representación de líneas de campo eléctrico a otro concepto, que es el de flujo eléctrico. Este hallazgo implica que los profesores hacen una explicación muy corta durante el tema de campo eléctrico sobre la representación de líneas de campo eléctrico y un uso muy extenso de esta representación durante el tema de flujo eléctrico. Esta mezcla puede conllevar a que los alumnos también piensen en líneas de campo eléctrico como flujo eléctrico y puede causar concepciones alternativas en los estudiantes. Los estudiantes pudieran llegar a pensar que las líneas de campo eléctrico transportan algo, ya que el término “flujo” tiene esa connotación en mecánica. El amplio uso de la representación de líneas de campo eléctrico para explicar el concepto de flujo eléctrico puede ser la causa de confusión entre ambos términos reportada por Singh (2006).

Uso de recursos didácticos y visuales en el aula

En la observación que se realizó en el salón de clases se identificaron los recursos de apoyo que utiliza el profesor en un día normal de clases. Los recursos de apoyo se clasificaron como recursos tecnológicos y representaciones abstractas que suelen ser visuales. En la Tabla 3 se acomodaron los códigos que surgieron de la observación de cada profesor con sus respectivas palabras clave y el participante, clasificados de acuerdo a su utilidad en el aula.

Tabla 3

Codificación de recursos didácticos y visuales en el aula

Clasificación	Código	Palabras clave	Participante
Recursos tecnológicos	Software	Learning Catalytics	Mario
	Software	PowerPoint	Santiago
	Software	Excel	Santiago
Representaciones abstractas	Multimedia	Videos de YouTube	Roberto
	Gráfica	Gráfica Q vs t	Santiago
	Gráfica	Gráfica gain vs t	Santiago
	Gráfica	Gráfica V vs t	Gabriel
	Diagrama	Líneas de campo magnético	Mario
	Diagrama	Esquema de circuito	Santiago
	Diagrama	Esquema con vectores	Roberto
	Diagrama	Esquema de circuitos	Gabriel
	Diagrama	Líneas de campo eléctrico	Gabriel
	Matemáticas	Ley de Kirchhoff	Santiago
	Matemáticas	Ecuaciones con vectores	Roberto
	Matemáticas	Fórmulas	Gabriel
	Simulación	Simulación de campo magnético	Mario
Multimedia			
Simulación	Simulador PhET de circuitos		Santiago
Multimedia			
	Objetos físicos	Marcadores para representar vectores	Roberto

Los códigos resultantes sugieren que los profesores recurren a distintas representaciones para explicar a los alumnos los conceptos básicos de electrostática. Los códigos obtenidos en las entrevistas tienden a ser teóricos y de opinión, dada la naturaleza de las preguntas manejadas en la

entrevista y de los datos obtenidos. En contraste, los códigos obtenidos en las observaciones son fenomenológicos ya que intentan describir el comportamiento natural del profesor en el aula.

En su explicación de campo eléctrico durante la entrevista, Santiago recurrió a distintos modelos y representaciones. El profesor utilizó la representación de campo vectorial para desarrollar el modelo de campo vectorial y la representación de vector para desarrollar el modelo de acción a distancia. En la Figura 1 se observan ambas representaciones en un mismo diagrama, el campo vectorial son las flechas que apuntan radialmente alrededor de la carga que está en el centro y la acción a distancia está representada por un vector que actúa únicamente sobre una carga positiva, resaltada con amarillo para facilitar su identificación. Como se observa en la Figura 1, Santiago además de combinar dos representaciones diagramáticas, agrega sus respectivas representaciones matemáticas por medio de ecuaciones. Esto es consistente con el amplio uso de representaciones que utiliza el profesor en clase, detectadas durante la observación. Como se muestra en la Tabla 3, Santiago utilizó siete diferentes representaciones en clase, que corresponden a cinco de los siete códigos y a las dos clasificaciones de recursos visuales. No se descarta la posibilidad de que el profesor utilice más tipos de representaciones para otros temas, ya que se realizó observación en una sola sesión de clase.



Figura 1. Explicación de campo eléctrico durante la entrevista con el profesor Santiago, donde recurre a la representación de campo vectorial, vectores y ecuaciones.

El profesor Mario utilizó una variedad de recursos, entre ellos tecnológicos y simulaciones multimedia con representaciones abstractas. Es consistente con sus explicaciones durante la entrevista porque en repetidas ocasiones mencionó que utilizan simulaciones en clase para desarrollar y visualizar estos conceptos abstractos. Por ejemplo, Mario mencionó que “nos basamos mucho en clase en el Phet de creo que se llama cargas, cargas y campos” en su explicación de campo eléctrico y “como demostración el otro Phet, el de *electric field hockey*” para su explicación de principio de superposición.

El profesor Gabriel recurrió principalmente a representaciones abstractas como gráficas, diagramas y expresiones matemáticas. Por su parte, el profesor Roberto recurrió mayormente a representaciones abstractas similares al profesor Gabriel, pero además incluyó una representación kinestésica, que fue utilizar marcadores para representar vectores. Estas representaciones tienen en

común que se dibujan en el pizarrón, lo que implica que el profesor imparte clase al frente y que se apoya en el mismo. Estas características coinciden con la enseñanza tradicional donde el profesor es el centro de atención e imparte clase a manera de exposición.

Interacciones entre profesores y alumnos en el aula

En la observación que se realizó en el aula se identificó el tipo de interacción que sucede en un día normal de clases. El tipo de interacción se clasificó como vertical cuando sucede entre profesor y alumnos y horizontal cuando sucede entre pares. En el caso de interacciones verticales, fue prudente especificar si sucede de profesor a alumno o de alumno a profesor. Además se anotaron detalles sobre la interacción, por ejemplo si el profesor respondía preguntas directamente o de manera socrática, si los motivó a resolver sus dudas entre ellos, entre otros.

Los códigos resultantes de la observación respecto al tipo de interacción sugieren que los profesores participantes interactúan de manera vertical con sus alumnos, y además estas interacciones suceden de profesor a alumno, siendo de alumno a profesor únicamente para hacer preguntas (ver Tabla 4). En este análisis fue interesante detallar si el profesor contestaba preguntas de manera directa o si utilizaba algún otro método que promoviera que los alumnos llegaran a la respuesta por su cuenta o apoyados por sus compañeros. Mario, Gabriel y Roberto contestaban preguntas de manera directa, pero Santiago preguntaba a los alumnos qué creían ellos antes de responder. Si el alumno no llegaba a una respuesta, entonces él le respondía directamente pero no promovía que surgieran discusiones entre pares. En cambio, Mario sí promovía las discusiones entre alumnos con actividades de instrucción por pares donde los alumnos respondían preguntas de manera individual a partir de una discusión grupal mediada por el software de *Learning Catalytics*. Mario mezcló interacción vertical de profesor a alumno y horizontal en las discusiones entre pares.

Tabla 4

Codificación de observaciones sobre el tipo de interacción

Tipo de interacción	Santiago	Mario	Gabriel	Roberto
Vertical	X	X	X	X
El profesor responde directamente		X	X	X
El profesor pregunta a los alumnos lo que piensan antes de responder	X			
Hace preguntas a los alumnos	X	X		X
Horizontal		X		
Promueve discusiones		X		

Mario mostró consistencia entre su discurso indirecto en las entrevistas y las observaciones en clase. Su discurso indirecto es incluyente tanto para alumnos como para él mismo. Mario habla

durante toda su entrevista desde la primera persona en plural, por ejemplo: “Entonces queremos también desarrollar otras maneras de poder llegar a respuestas de manera un poquito más eficiente.” Este tipo de discurso demuestra que el profesor de cierta manera trabaja en conjunto con el alumno para apoyarlo en su aprendizaje, lo que se alinea con la presencia de interacción horizontal en el aula y con la promoción de discusiones.

Los profesores Gabriel y Roberto se expresaron en sus entrevistas de una manera interesante que parece estar presente en su interacción vertical con los alumnos. Ambos a lo largo de sus respectivas entrevistas recurrieron a una narración sobre lo que los alumnos les preguntarían en clase sobre el tema y lo que ellos les responderían. Es por esto que en sus entrevistas se identificó la presencia de un alumno hipotético. Por ejemplo, Gabriel hizo el siguiente discurso indirecto: “[Alumno hipotético] ¿entonces qué es un campo eléctrico? [Gabriel] Mira Imagínate que alguien te empuja o alguien te atrae. [Alumno hipotético] ¡Ah OK! ¿Es una fuerza? [Gabriel] sí es una fuerza debida a ese fenómeno eléctrico sobre otro objeto que se presenta y estamos alrededor de ese campo eléctrico.” El profesor Roberto reportó: “[Los alumnos hipotéticos] dicen profe es como lo de la fuerza gravitacional, le digo sí, parecido, sigue más o menos el mismo esquemita.” Estos discursos indirectos concuerdan con lo observado en la Tabla 4 que los profesores Gabriel y Roberto contestan directamente a las preguntas de los alumnos.

Por otra parte, el profesor Roberto reportó como parte de su discurso indirecto con los alumnos lo siguiente: “porque yo les digo ¿qué es lo que sucede si la partícula, una de las partículas, se hace cada vez más grande? Entonces [los alumnos hipotéticos] dicen ah pues bueno va a ser una interacción más fuerte. [El profesor pregunta] ¿Y si la hacemos cada vez más pequeña? [Los alumnos hipotéticos responden] Ah pues entonces va a ser cada vez más débil.” Este tipo de discurso indirecto es coherente con lo observado en clases en el tipo de interacción vertical donde el profesor hace preguntas a los alumnos sobre el tema que está explicando. Además de las interacciones entre sus alumnos hipotéticos y ellos mismos, ambos profesores hicieron un uso recurrente de la frase “yo les digo” en sus entrevistas, lo que concuerda con su interacción vertical donde principalmente explican los conceptos a los estudiantes.

CONCLUSIÓN

Los resultados sugieren que los profesores que tienen un estilo de enseñanza tradicional donde se observa una interacción principalmente vertical entre profesor y alumnos y donde se recurren a menos diversidad de representaciones, existe una tendencia hacia utilizar la representación de líneas de campo eléctrico en el tema de flujo eléctrico. Este uso puede resultar contraproducente porque la representación de líneas de campo eléctrico es para representar el campo eléctrico y al momento de utilizarla para flujo eléctrico mucho más que para campo eléctrico se tiende a asociar que las líneas de campo “transportan” algo eléctrico y eso crea el flujo. Esto es consistente con los hallazgos de Törnkvist, Petersson y Tranströmer (1993) donde reportan que los estudiantes tratan a las líneas de campo eléctrico como entidades reales y no como una representación de un concepto abstracto que es el campo eléctrico.

Las limitantes de este estudio están relacionadas con el pequeño número de profesores al que se tuvo acceso. Sin embargo, el trabajo muestra tendencias claras de estos profesores en las representaciones que usan y sus interacciones con los estudiantes. Otra limitante es que la observación no ocurrió en el mismo tema de campo y flujo eléctrico por lo que no fue posible hacer relaciones directas. Sin embargo, estas observaciones sirvieron para obtener información sobre el uso de representaciones y sobre las interacciones de profesores y estudiantes en su práctica docente.

Los resultados del estudio son interesantes para la comunidad de investigadores en la educación de la física y para profesores de electricidad y magnetismo que estén dispuestos a reflexionar sobre el uso de representaciones que fomenten la comprensión de temas abstractos.

REFERENCIAS

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198. doi:10.1016/j.learninstruc.2006.03.001
- Campos, E., & Zavala, G. (2017, editado por Ramírez-Montoya). A look into students' interpretation of electric field lines. En *Handbook of Research on Driving STEM Learning With Educational Technologies*: IGI Global.
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (2000). The discipline and practice of qualitative research. En N. K. Denzin y Y. S. Lincoln (Eds.). *Handbook of qualitative research* (pp.1-28). Thousand Oaks, California: SAGE.
- Goodwin, C. (2003). Pointing as situated practice. En S. Kita (Ed.), *Pointing: Where language, culture and cognition meet* (pp. 217–241). Mahwah, Nueva Jersey, Estados Unidos: Lawrence Erlbaum Associates.
- Guisasola, J., Almudí, J. M., & Zubimendi, J. L. (2004). Difficulties in learning the introductory magnetic field theory in the first years of university. *Science Education*, 88 (3), 443-464. doi:10.1002/sce.10119
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación (Quinta edición)*.
- Li, J. (2012, March 20). *Improving Students' Understanding of Electricity and Magnetism* (Ph.D., University of Pittsburgh, 2012). Retrieved January 11, 2017, from <http://www.compadre.org/Repository/document/ServeFile.cfm?ID=11789&DocID=2647>
- Maries, A., & Singh, C. (2012). Should students be provided diagrams or asked to draw them while solving introductory physics problems? *American Journal of Physics*, 1413, 263-266. doi:10.1063/1.3680045
- Singh, C. (2006). Student understanding of symmetry and gauss's law of electricity. *American Journal of Physics*, 74 (10), 923-936. doi:10.1119/1.2238883
- Törnkvist, S., Pettersson, K. A., & Tranströmer, G. (1993). Confusion by representation: On student's comprehension of the electric field concept. *American Journal of physics*, 61, 335-335. <http://dx.doi.org/10.1119/1.17265>



- Van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59 (10), 891-897.
- Viennot, L., & Rains, S. (1992). Students' reasoning about the superposition of electric fields. *International Journal of Science Education*, 14 (4), 475-487. doi:10.1080/0950069920140409
- Young, H., & Freedman, R. (2013). *Física Universitaria con Física Moderna, Volumen 2* (13ª edición). México: Pearson Educación.