

ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA DE LAS LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO DE
UNA PARTÍCULA CARGADA EN MOVIMIENTO

María de los Ángeles Quintero García

Yeison Eduardo Torres García

Asesor

Néstor Méndez Hincapié

Docente de la Universidad Pedagógica Nacional

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Física

Bogotá D, C.

2016

ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA DE LAS LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO DE
UNA PARTÍCULA CARGADA EN MOVIMIENTO

María de los Ángeles Quintero García

Yeison Eduardo Torres García

Monografía de grado presentada como requisito parcial para optar al título de
Licenciados en Física.


Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Física

Bogotá D, C.

2016

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Realidad - Reflexión - Acción</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 3 de 73	

Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA DE LAS LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO DE UNA PARTÍCULA CARGADA EN MOVIMIENTO
Autor(es)	Quintero García, María de los Ángeles Torres García, Yeison Eduardo
Director	Méndez Hincapié, Néstor
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2016. 69p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional De Colombia
Palabras Claves	CAMPO ELÉCTRICO, PARTÍCULA CARGADA, SIMULACIÓN COMPUTARIZADA, ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA, LÍNEAS DE CAMPO, LÍNEAS DE FUERZA, TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD, RELATIVIDAD RESTRINGIDA.

1. Descripción
<p>En la presente monografía se analizó matemáticamente la representación del campo que generan partículas cargadas eléctricamente y en movimiento. Las simulaciones se utilizaron para conceptualizar física y gráficamente las líneas de fuerza. La estrategia de enseñanza se diseñó para abordar la representación de líneas de campo eléctrico producido por el movimiento de partículas eléctricas, contribuyendo a la enseñanza de éste concepto utilizando herramientas computarizadas.</p>

2. Fuentes
<p>Berkson, W. (1981). <i>Las teorías de los campos de fuerza desde Faraday hasta Einstein</i>. Madrid: Alianza.</p> <p>Esquemre, F. (2005). <i>Creación de simulaciones interactivas en Java: aplicación a la enseñanza de la física</i>. Madrid: Pearson Educación, Prentice Hall.</p>

- Esquembre, F. (11 de Diciembre de 2011). *Easy Java Simulations Wiki | Es / Home Page*.
Obtenido de Universidad de Murcia. Pagina Web Personal: Prof. Francisco Esquembre :
<http://www.um.es/fem/EjsWiki/Es/HomePage>
- Feynman, R. P. (1972). *The Feynman lectures on physics = Física* (Vol. II). Caracas: Fondo Educativo Interamericano.
- Fonseca, M., Hurtado, A., Lombana, C., & Ocaña, O. (2002). Una partícula cargada eléctricamente, se libera en reposo, en un campo electrostático generado por otras cargas: ¿cuál es la trayectoria? ¿existen las líneas de campo? *Revista colombiana de física (Bogotá)*, 284-288.
- Fonseca, M., Hurtado, A., Lombana, C., & Ocaña, O. (2006). La simulación y el experimento como opciones didácticas integradas para la conceptualización en física. *Revista colombiana de física (Bogotá)*, 707-710.
- French, A. P. (2002). *Relatividad Especial. MIT Physics Course*. Barcelona: Reverté.
- Hawking, S. (2008). *La gran ilusión. Las grandes obras de Albert Einstein*. Barcelona: Crítica.
- Hodson, D. (1994). Investigación y experiencias didácticas: Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las ciencias*, 299-313.
- Marulanda, J. I., & Gómez, L. A. (2006). EXPERIMENTOS EN EL AULA DE CLASE PARA LA ENSEÑANZA. *REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA*, 699-702.
- Morales Suarez, M. Á. (2008). *Una caracterización del concepto de potencial vectorial en la teoría electromagnética de campos. Asesor: Isabel Garzón Barragán*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, Trabajo de grado del programa licenciatura en física.
- Purcell, E. M. (2001). *Electricidad y magnetismo. Berkeley Physics Course* (Segunda ed., Vol. II). Barcelona: Reverté.

3. Contenidos

Este trabajo de grado consta de tres capítulos organizados de la siguiente manera:

- Introducción
- Capítulo 1: LAS SIMULACIONES EN LA ENSEÑANZA DE LOS FENÓMENOS FÍSICOS.
En este capítulo realizamos una breve descripción sobre la importancia de las simulaciones en el aprendizaje de la física y el papel del docente para escoger una herramienta adecuada y ser implementada en el aula.

Capítulo 2: MARCO TEÓRICO: CAMPO ELÉCTRICO

En esta sección realizamos el análisis físico del concepto de campo eléctrico desde la electrostática y la dinámica con la representación esquemática de las líneas de campo eléctrico y como estas se forman cuando una partícula cargada se encuentra en movimiento

- Capítulo 3: ¿CÓMO USAR CORRECTAMENTE UNA SIMULACIÓN EN EL AULA?
Como parte principal de esta monografía se hace una herramienta de aula con dos simulaciones ambas de software libre, en la que se diseñan unas actividades encaminadas hacia la enseñanza de la electrostática y los postulados de la relatividad restringida.
- Conclusiones del trabajo

4. Metodología

El presente trabajo presenta una metodología cualitativa correlacional, porque resulta de la revisión bibliográfica realizada y de la perspectiva del estudio asociando variables mediante un patrón predecible.

La finalidad es conocer la relación que existe entre dos o más conceptos en un contexto particular, sabiendo cómo se comporta un concepto preliminar. En el presente trabajo se parte del concepto campo electrostático y de la relatividad restringida para desarrollar la teoría del campo de una carga eléctrica en movimiento.

5. Conclusiones

El presente trabajo se hizo un análisis matemático del concepto de campo eléctrico para cargas móviles situado desde la relatividad restringida y su propagación de las líneas de campo, con la investigación detallada de dos simulaciones ambas de software libre.

Para el uso de herramientas computacionales en la enseñanza de la física se debe tener en cuenta un buen material de apoyo que acompañe a la simulación guiando a los sujetos que manipularán el programa y así aprovechando los beneficios en la utilización de estos instrumentos. La construcción del material guía, que en este trabajo se llamó estrategia de Enseñanza, se conformó gracias a la investigación de la teoría física y matemática que está de fondo en las simulaciones utilizadas. Gracias a esta conceptualización se diseñaron una serie de actividades las cuales incluyen una guía para el docente y ejercicios para los estudiantes que trabajarán sobre las simulaciones. La estrategia diseñada como producto de la investigación se realizó para mostrar como ejemplo o insumo a futuros docentes, una de las maneras correctas en llevar una simulación computarizada al aula, resaltando la importancia del desarrollo matemático y físico necesario para la comprensión de la temática a trabajar.

En el documento se hizo un análisis matemático del concepto de campo eléctrico para cargas móviles y estáticas y la propagación de las líneas de campo.

A medida, que la partícula cargada va aumentando su velocidad se observa en la simulación como las líneas de campo se juntan en la dirección del movimiento, por lo tanto el campo eléctrico es mayor en esa región (transversal a la velocidad).

Como resultado del análisis realizado a las dos simulaciones, se concluyó que la importancia de utilizar este tipo de herramientas yace más allá de lo estético que sea; hay que tener claro que la profundidad o esencia de una simulación es visualizar el fenómeno sin desentendernos del desarrollo matemático y físico que ello representa, para así llevar al aula un buen material de apoyo.

La simulación de la carga en movimiento (radiating-charge_es.jar) nos permite dar una aceptada interpretación de un campo eléctrico que varía en el tiempo y la propagación de las líneas de campo, estas no producen instantáneamente les lleva un tiempo t propagarse en el espacio que está de acuerdo con la relatividad restringida ya que clásicamente estas líneas de fuerza actuarían instantáneamente. Con el análisis elaborado en la monografía sabemos que una carga en movimiento produce un campo magnético, este campo no se representa en la simulación estudiada y se presenta en la estrategia de Enseñanza como una herramienta cualitativa de las líneas de campo eléctrico.

Elaborado por:	Quintero García, María de los Ángeles Torres García, Yeison Eduardo
Revisado por:	Méndez Hincapié, Néstor

Fecha de elaboración del Resumen:	10	06	2016
--	----	----	------

CONTENIDO

1. Introducción.....	4
2. Problema.....	5
2.1.Descripción del problema.....	5
3. Justificación.....	7
4. Metodología.....	8
5. Objetivos.....	9
5.1.Objetivo General.....	9
5.2.Objetivos Específicos.....	9

Capítulo 1: Las simulaciones en la enseñanza de los fenómenos físicos

1. Investigación y experiencias didácticas.....	10
1.1 El Laboratorio virtual	11
1.2 La enseñanza a partir de laboratorios	12

Capítulo 2: Marco Teórico: Campo eléctrico

2. Medida del campo eléctrico en distintos marcos de referencia.....	14
2.1 Fuerza electromagnética.....	14
2.2 Invarianza de la carga	14
2.3 Campo eléctrico en dos sistemas de referencia	14
2.4 Campo de una carga puntiforme a velocidad constante	17
2.5 Líneas de campo eléctrico.....	19

Capítulo 3: ¿Cómo usar correctamente una simulación en el aula?

3. Estrategia de enseñanza	22
6. Conclusiones	57
7. Apéndice.....	58
A. Teoría de la relatividad especial	58
B. Transformación del campo \vec{E}	63
8. Bibliografía	66

1. Introducción

Esta investigación está dirigida en comprender el campo de una carga eléctrica en movimiento. Para ello se realizó una conceptualización física y matemática de los conceptos necesarios, ideando una estrategia de Enseñanza con dos simulaciones encontradas en la red con licencia libre para uso académico y pedagógico.

El uso de las simulaciones ha aumentado en la enseñanza de la física para visualizar los fenómenos, siendo una herramienta computarizada que amenice las clases y ayuda al docente en su labor.

Las representaciones del campo electromagnético son modelos que ayudan a la comprensión y análisis de su comportamiento. Existen las líneas de fuerza para explicar el campo de una partícula eléctrica en reposo y también para representar el campo de una en movimiento.

Las líneas de campo de una partícula eléctrica en reposo son sencillas de concebir ya que en la educación media se enseñan en forma vectorial radialmente hacia afuera o hacia adentro, dependiendo el valor de su carga, pero ¿Qué sucede al imaginar esa partícula ahora en movimiento?

Siguen representándose líneas para el campo que produce una partícula eléctrica en movimiento, pero la nueva estructura y comportamiento que representa esto, es laborioso de comprender. Aunque existen imágenes en libros especializados en electromagnetismo, entender el cambio que se produce de lo estático a lo dinámico es complejo y no basta con observar las figuras. Es necesario para su mejor comprensión verlas en movimiento, para ello se han realizado sin número de simulaciones en donde se observa este comportamiento.

La importancia de llevar al aula una buena estrategia que visualice tanto el desarrollo matemático y físico de una teoría además de su representación gráfica consiste en la actividad continua y explicativa del docente, aun mas por utilizar la herramienta computarizada, como lo es una simulación.

1. Problema

1.1. Descripción del problema

El problema que existe en torno a la comprensión y enseñanza del comportamiento físico y conceptualización matemática de la electrodinámica clásica abordándola desde las representaciones gráficas que se hacen de las líneas de campo de una partícula eléctrica en movimiento, está en la transición o paso de la representación del campo eléctrico de una partícula cargada en reposo a la representación del campo eléctrico de una partícula cargada en movimiento.

Las líneas de fuerza son una representación del campo eléctrico de una partícula cargada eléctricamente en reposo. Si la partícula comienza a moverse genera un campo magnético. Unificando los dos campos en uno solo es un campo electromagnético que varía en el tiempo, entonces ¿Cómo serían las líneas de fuerza de una partícula puntual en movimiento? ¿Cómo son las líneas de campo que evolucionan en el tiempo? Estas líneas solo podrán dibujarse con una dirección propia solo cuando se coloca un cuerpo de prueba, en un punto próximo a esta partícula cargada. Ese cuerpo de prueba será una partícula cargada y dependiendo lo que se quiera ilustrar será del mismo signo o contrario a la partícula inicialmente expuesta (Fonseca, 2002). ¿Será posible reproducir esas líneas de fuerza de una partícula en movimiento? O ¿Se puede estudiar las líneas de fuerza de una carga eléctrica en movimiento separando las componentes eléctrico y magnético?

El uso de simuladores computarizados data de la segunda mitad del siglo XX. A pesar de su gran difusión, la efectividad de los simuladores tardó varios años en ser explorada aunque fue practicada en varias ramas. Uno de los primeros estudios en simulación fue realizado en 1962 en la rama de Administración y Gerencia en Harvard por el Prof. James McKenney usando un simulador de negocios en el área de producción. En general, el motor intelectual de las simulaciones en la enseñanza de conceptos claves (en cualquier rama), es la experimentación directa con los conceptos. Esta contribución se le asigna a John Dewey en su obra "Education and Experience" en donde se argumentaba en contra del exceso de teoría.

Las simulaciones informáticas últimamente son las que presentan más interés e innovación en la enseñanza de la física porque son utilizadas para observar y comprender el comportamiento de determinados sistemas y pueden ser aplicadas tanto a la investigación como a la didáctica de las Ciencias Naturales (García Casas & Andreu,

2013) pero, ¿Cómo una simulación en java puede ser utilizada como herramienta didáctica en la enseñanza del campo eléctrico de una partícula en movimiento? En el artículo de Fonseca se establecieron los referentes teóricos y epistemológicos generales que existen alrededor de las prácticas convencionales de laboratorio de física, y de aquellas que requieren el uso de sistemas de adquisición de datos, en donde el computador juega un papel importante; en el artículo muestra el trabajo de investigación y la simulación que hicieron Fonseca, Hurtado, Lombana y Ocaña entorno al desarrollo teórico y representación gráfica de las líneas de campo de una partícula cargada eléctricamente, que se libera en reposo, en presencia de un campo electrostático generado por otras cargas; allí se estudian las líneas de campo y su trayectoria (Fonseca, 2006) Teniendo en cuenta el impacto de las herramientas tecnológicas en las investigaciones científicas y lo que en su relación se ha logrado en cuanto a la educación, se plantearon algunas proyecciones del empleo de dichas herramientas en la enseñanza de la física (Fonseca, 2002) Se tiene que aclarar que una simulación por sí sola no representa mayor desempeño en la enseñanza de algún tema, el papel del profesor, guía o tutor es extremadamente alto a la hora de enseñar y explicar un concepto ¿Cómo podemos ayudar en el desempeño, practica y buena utilización de las simulaciones computarizadas, teniendo en cuenta el gran papel del docente?

¿Cómo una simulación computarizada puede apoyar la enseñanza de las líneas de campo de una partícula cargada eléctricamente en movimiento?

2. Justificación

La propuesta de trabajo investigativo surgió de una motivación personal que corresponde al hecho de enfatizar y abordar un tema el cual necesita de una comprensión específica con ayuda de las temáticas de la relatividad restringida. Se quiere desarrollar una estrategia de enseñanza en donde se utilizarán un par de simulaciones computarizadas que den una explicación a la temática que se abordara en el proyecto. Se espera que con el desarrollo del trabajo y el estudio minucioso y/o profundo de las simulaciones, se encuentre una forma adecuada de utilizarlas, incentivando a los estudiantes y futuros docentes de ciencias. Para utilizar este tipo de herramientas gráficas, en temas abstractos como las líneas de campo, se debe tener especial cuidado en la escogencia de las simulaciones ya que no cualquier simulación es buena herramienta de enseñanza, para así tener en cuenta la conceptualización matemática utilizada en las simulaciones y en la representación, sin que lo realizado en el computador contradiga algún principio físico.

La utilización de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación TIC's (Rojas, Oviedo, & Lopez, 2011) como las simulaciones que se utilizan como una alternativa para el aprendizaje y enseñanza de la física (Fonseca, 2006) necesitan de un proceso de clasificación arduo para que en las clases donde se lleven a cabo el desarrollo de las actividades entorno a las simulaciones, no se incurra en el error de ceder por la imagen y buena presentación olvidando lo importante del principio físico y el desarrollo matemático de este. Para enseñar un concepto clave, como en este caso el campo eléctrico, existen varios y variados simuladores del fenómeno, pero se debe estudiar a fondo (conceptual, matemática y físicamente) el simulador que se utilizará para una buena aplicación en el aula.

3. Metodología

La metodología empleada es la investigación cualitativa correlacional, porque resulta de la revisión bibliográfica realizada y de la perspectiva del estudio asociando variables mediante un patrón predecible. La finalidad es conocer la relación que existe entre dos o más conceptos en un contexto particular, sabiendo cómo se comporta un concepto preliminar. En el presente trabajo se parte del concepto campo electrostático y de la relatividad restringida para desarrollar la teoría del campo de una carga eléctrica en movimiento. Las siguientes fases exponen los pasos de la investigación:

- **FASE I: Contextualización del problema.**

Aquí se realizó una investigación y estudio del campo electrostático, para así conceptualizar y llegar a entender los contextos básicos de electrodinámica clásica necesarios para llegar a reproducir las líneas de fuerza tanto físico, matemático y en las simulaciones. En esta fase se realizó una recolección de material bibliográfico y antecedentes.

- **FASE II: Contraste teórico y gráfico.**

A partir de la fase I y partiendo de las dos simulaciones trabajadas, se hace un análisis de la teoría física y matemática utilizada en cada una; para verificar cómo manejan la relación entre variables y saber cómo podemos usarla en un ambiente universitario.

- **FASE III: Diseño de una estrategia de enseñanza.**

En esta fase se integran la contextualización y el contraste, para diseñar una estrategia que ayude a la enseñanza del campo eléctrico desde la visualización que el estudiante representa del campo. En el desarrollo de la estrategia se desarrollan guías para la enseñanza de las líneas de campo que produce una partícula eléctrica en movimiento, en donde se plantean actividades en las cuales la simulación es la herramienta principal para un laboratorio virtual.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Diseñar una estrategia de enseñanza de las líneas de campo eléctrico de partículas cargadas en movimiento.

4.2. Objetivos Específicos

1. Analizar la teoría de campo eléctrico de una partícula cargada en movimiento y su interacción con otras partículas de muestra.
2. Identificar el campo eléctrico de la partícula en movimiento, para realizar un estudio de un par de simulaciones computarizadas que representan las líneas de campo de partículas eléctricas.
3. Fundamentar que el uso de las simulaciones computarizadas puede ayudar a que ciertos conceptos abstractos, como el de línea de campo, sean abordados por el docente y lleven al aula una herramienta que exprese el fenómeno físico adecuadamente.

CAPITULO 1

LAS SIMULACIONES EN LA ENSEÑANZA DE LOS FENÓMENOS FÍSICOS

Dado que la presente investigación tiene como fundamento central el estudio matemático del campo electromagnético que produce una carga en movimiento a partir de una simulación que evidencie las líneas de campo, será necesario especificar los ejes conceptuales sobre los cuales se apoya la simulación para que la utilización de esta tenga criterio disciplinar y pedagógico correctamente dado. Para empezar, se estudiará el campo de una partícula cargada en movimiento utilizando la relatividad restringida midiéndolo en diferentes marcos de referencia, haciendo la transformación respectiva del campo eléctrico y magnético. La simulación se realizará en una herramienta de software llamada Easy Java Simulations o su sigla Ejs. Siendo este software poco conocido en la Universidad, se hace una descripción de quien lo realizó, cómo funciona y por qué se escogió para realizar la simulación. Por último se describirá cómo se utiliza el software en la estrategia de enseñanza que se presenta como resultado de la investigación, el criterio se basa en la investigación, experiencias didácticas y la enseñanza mediante laboratorios en la cual se resalta la importancia de la experiencia para un aprendizaje activo.

1. Investigación y experiencias didácticas

Lo que sustenta el diseño de la estrategia de enseñanza es el uso del laboratorio en el aula, para ello se expone bajo qué criterios es válido el uso del experimento y que procesos cognitivos se fomentan con la participación activa del estudiante en estos procesos. Para ello la investigación se llevó a cabo en algunos artículos de la revista “Investigación y experiencias didácticas” más exactamente de los escritos por Hudson.

Enseñanza de las Ciencias se ha consolidado como un punto de referencia obligado, especialmente entre los profesionales del campo de la enseñanza de las matemáticas y las ciencias experimentales de España e Iberoamérica. En relación con el campo de la enseñanza de las ciencias quiere profundizar en la base teórica de los estudios e investigaciones publicados, propiciar reflexiones fundamentadas en relación con el estado y las perspectivas de las diferentes líneas de investigación prioritarias en la actualidad, y fomentar trabajos interpretativos que permitan avanzar en la comprensión de problemas significativos relacionados con el aprendizaje científico. También busca promover los estudios que correspondan a

las necesidades del profesorado de ciencias y matemáticas y que profundicen en el impacto de diferentes prácticas educativas ya sea en el aula o en contextos informales. (Consorti de Serveis Universitaris de Catalunya Y Biblioteca de Catalunya, s.f.)

Las bases que en ella se exponen son las utilizadas para que el resultado de esta investigación se vea reflejado tanto en la simulación, como en la estrategia de enseñanza. Así, la herramienta diseñada tendrá validez conceptual y pedagógico a la hora de que sea implementada. El resultado se sustenta en que para la enseñanza de conceptos difíciles de concebir materialmente como son las líneas de campo, se propone aquí el uso de simulaciones que lleven al estudiante a tener un acercamiento gráfico de lo que posiblemente sucede, sin dejar a un lado la conceptualización matemática y el acompañamiento del respectivo docente a lo largo del desarrollo de la estrategia.

1.1 El laboratorio virtual

La investigación resalta la importancia del uso de los laboratorios en el aula, apoyándose en estudios realizados por Hudson y otros expertos que aseguran que al aprovechar la inclusión del estudiante con el experimento, es decir haciendo del estudiante protagonista de la clase, los docentes observaran que la actitud y los resultados conceptuales en el estudiante serán significativos, adoptando otras metodologías trabajando en grupo o en equipo para que términos teóricos sean adoptados e interpretados de manera correcta.

En el campo de la computación, el término virtual significa “que no es real”. En general, se distingue algo que es netamente conceptual de algo que es físicamente real. Tal distinción se puede utilizar en una gran variedad de situaciones. De acuerdo a lo anterior, se ha definido un laboratorio virtual como una simulación en computadora de una amplia variedad de situaciones en un ambiente interactivo; es decir, se puede simular el comportamiento de un determinado sistema que se desea estudiar haciendo uso de modelos matemáticos, y aunque no se interactúa con los procesos o sistemas reales, la experimentación con modelos simulados es comparable con la realidad, siempre que dichos modelos sean realistas y representen detalles importantes del sistema a analizar, además de que las gráficas que representen la evolución temporal del sistema se complementen con animaciones que hagan posible ver y comprender mejor el comportamiento del proceso. (Velasco, Arellano, Martínez, & Velasco, 2010)

La creación de laboratorios virtuales tiene múltiples ventajas respecto a los reales. Dado que este tipo de laboratorios se sustenta en modelos matemáticos que se ejecutan en computadoras, su configuración y operación es más sencilla. Además, tienen un mayor grado de seguridad toda vez que no existe el riesgo de accidentes en el entorno al no haber equipos o dispositivos físicos. Otra ventaja no menos significativa se desprende de la economía, pues se invierte menos en equipos y materiales.

Un laboratorio virtual tiene una función principalmente pedagógica que permite asimilar conceptos, leyes y fenómenos. También es una herramienta para la predicción y verificación de datos para el diseño de experimentos cada vez más complejos. (Velasco, Arellano, Martinez, & Velasco, 2010)

1.2 La enseñanza a partir de laboratorios

Es evidente la dificultad generalizada que se presenta entre los estudiantes con el aprendizaje de la física. Parte del problema está relacionado con la complejidad inherente al estudio de esta ciencia ya que en muchos casos se elaboran conceptos que resultan ser abstractos para el estudiante, en el sentido de que éste no tiene un referente al cual acudir. Esta es una situación que origina, en la mayoría de los casos, una actitud de apatía hacia el estudio de esta disciplina y que indudablemente afecta el rendimiento académico. (Marulanda & Gómez, 2006). Las clases magistrales constituyen por excelencia la modalidad en la que se imparten los cursos de física en nuestro medio. En ellas se cubren los temas correspondientes a diferentes campos de la física partiendo del estudio de variables, fenómenos, leyes y principios físicos. En este escenario se abordan los aspectos fundamentales de las diferentes teorías y es aquí donde se espera que el estudiante adquiera habilidades conceptuales, analíticas y operativas para resolver situaciones problema. Por otro lado, considerando la importancia de la observación de fenómenos físicos al elaborar referentes sobre los cuales pueda apoyarse el desarrollo de modelos formales, el trabajo experimental se convierte en un recurso didáctico valioso.

Construir conocimiento significativo con base en la experimentación exige del docente competencias pedagógicas y destrezas en el manejo de la instrumentación, ya que la calidad de la experimentación concreta y computacional es la prioridad para el éxito de esta estrategia. El modelo de informe de laboratorio en formato de publicación científica es una estrategia para que el estudiante desarrolle habilidades comunicativas, es él quien ordena sus propias ideas y las escribe, construye su propio conocimiento con base en lo

que ya sabe de una experiencia concreta y lo expresa tal como lo entiende, permitiendo evaluar en él la estrategia del docente. (Agudelo & García, 2010)

CAPITULO 2

CAMPO ELÉCTRICO

2. Medida del campo eléctrico en distintos marcos de referencia

2.1 Fuerza electromagnética

La fuerza que describe una partícula cargada en movimiento experimenta una fuerza proporcional al campo \vec{E} y una fuerza perpendicular a la velocidad ($\vec{v} \times \vec{B}$) donde \vec{B} es el campo magnético, la fuerza total sobre una partícula es:

$$\vec{F} = Q[\vec{E} + (\vec{v} \times \vec{B})] \quad (1)$$

2.2 Invariancia de la Carga

La conservación de la carga eléctrica implica que en un sistema aislado esta se mantiene constante y la carga eléctrica es independiente de la velocidad del observador esto quiere decir que la carga es un invariante relativista y no importa si un observador se está moviendo o esta inmóvil

2.3 Campo eléctrico en dos sistemas de referencia

Para determinar el campo eléctrico de dos sistemas de referencia necesitamos establecer qué ley nos proporciona una buena medida del campo. La ley de Gauss, depende solamente del número y variedad de partículas cargadas en el interior de una superficie S , y no de cómo se mueven (Purcell, 2001, 172), esto nos quiere decir que la ley de Gauss nos da una buena medida del campo eléctrico en un sistema de referencia Σ en un instante t se tendrá una superficie S , para un sistema Σ' que se mueve con cierta velocidad v en un tiempo t' se calcula una superficie S' .

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \oint \vec{E}' \cdot d\vec{A}' \quad (2)$$

Vamos a calcular el campo eléctrico de dos placas cada una con carga Q^- y Q^+ que estan paralelamente al eje de las x y x' , suponemos dos sistemas de referencia Σ y Σ' que se mueve con cierta velocidad \vec{v} como se muestra en la **Figura 1**.

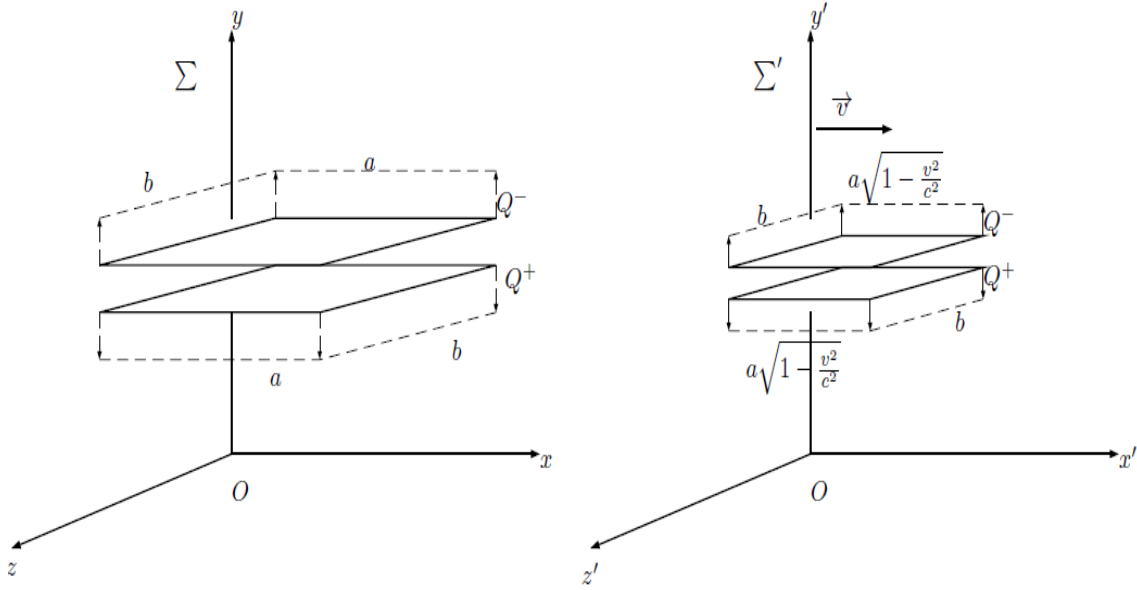


Figura 1: Campo eléctrico de dos placas paralelas al eje x y x' vista de dos sistemas de referencia Σ y Σ' .

En sistema de referencia Σ las placas tienen una longitud a a lo largo del eje x , y una longitud b a lo largo del eje z , cuya densidad de carga es $\sigma = Q/A$, con $A = ab$; el vector de campo \vec{E} está dirigido en la dirección de y y por lo tanto el campo eléctrico es

$$\vec{E}_y = \frac{1}{\epsilon_0} \sigma \hat{j} \quad (3)$$

En sistema de referencia Σ' las placas tienen una longitud a' debido a que esta longitud se ha contraído en el sentido de la dirección del movimiento, así el campo eléctrico entre las dos placas es:

$$\vec{E}'_y = \frac{1}{\epsilon_0} \sigma' \hat{j}$$

Cuya densidad de carga es

$$\sigma' = \frac{Q}{A'} = \frac{Q}{\left(a\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}\right)(b)} = \gamma\sigma \quad (4)$$

Por lo que:

$$E'_y = \frac{1}{\epsilon_0} \sigma' = \frac{E_y}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \gamma E_y \quad (5)$$

También se puede escribir

$$E'_{\perp} = \gamma E_{\perp} \quad (6)$$

También se puede escribir

$$E'_y = \gamma E_y \quad (7)$$

Suponemos un caso diferente de dos placas cada una con carga Q^- y Q^+ que están ubicadas paralelamente al eje de las x y x' , tenemos dos sistemas de referencia Σ y Σ' que se mueve con cierta velocidad \vec{v} como se muestra en la **Figura 2**.

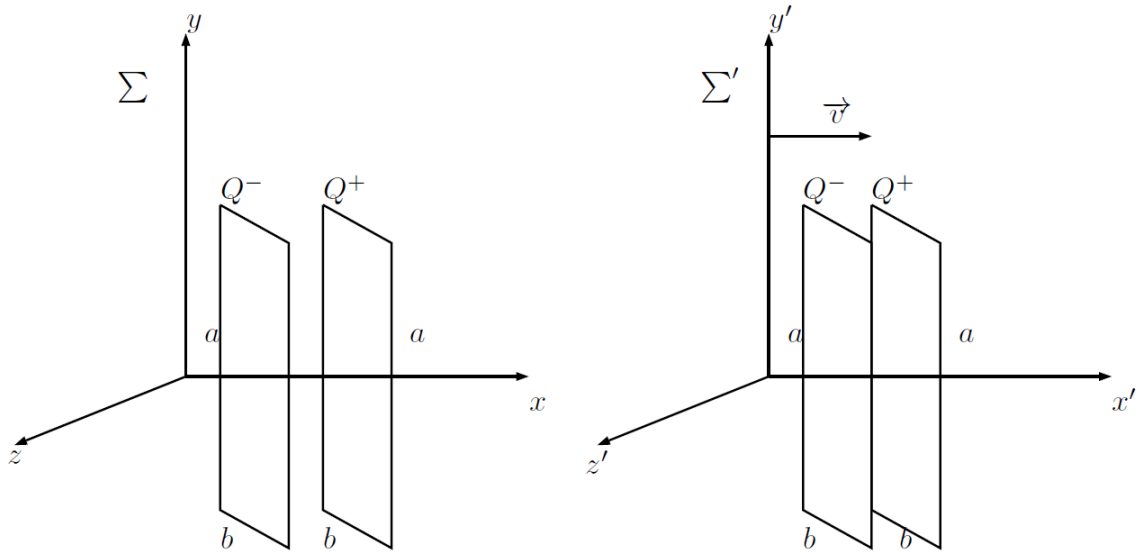


Figura 2: Campo eléctrico de dos placas paralelas al eje x y x' vista de dos sistemas de referencia Σ y Σ'

En sistema de referencia Σ las placas tienen una longitud a y b , ambas perpendiculares a la dirección de movimiento cuya densidad de carga es $\sigma = Q/A$, el vector de campo \vec{E} está dirigido paralelamente al eje x por lo tanto el campo eléctrico es

$$\vec{E}_x = \frac{1}{\epsilon_0} \sigma \hat{i} \quad (8)$$

En sistema de referencia Σ' las placas tienen la misma área porque sus longitudes no se han contraído; el campo eléctrico entre las dos placas es:

$$\vec{E}'_x = \frac{1}{\epsilon_0} \sigma \hat{i} \quad (9)$$

O':

$$E'_x = E_x \quad (10)$$

También se puede escribir:

$$E'_{\parallel} = E_{\parallel} \quad (11)$$

Las ecuaciones (6) y (11) nos permiten establecer que:

Si el campo \vec{E} en un punto espacio temporal ha de tener significado único, la manera en que \vec{E} aparece en otros sistemas de referencia, en el mismo punto espacio temporal, no puede depender de la naturaleza de las fuentes que producen en \vec{E} donde quiera que puedan estar. (Purcell, 2001, 175)

Esto nos dice que las expresiones de las ecuaciones (7) y (10) nos van a servir para nuestro estudio del caso de una partícula cargada que se encuentra en movimiento

2.4 Campo de una carga puntiforme a velocidad constante

Supongamos que tenemos dos sistemas de referencia como se muestran en la **Figura 3**

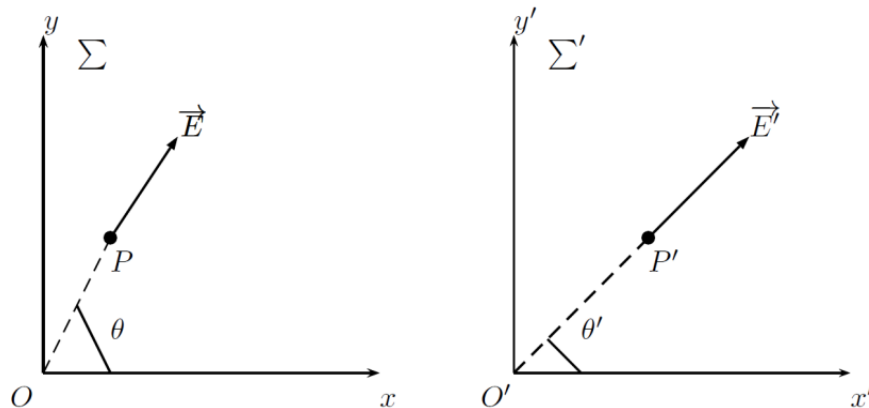


Figura 3: Campo eléctrico de una carga ubicada en un punto P vista por dos sistemas de referencia Σ y Σ'

En el punto P se encuentra una partícula cargada puntual. El sistema Σ se encuentra inmóvil respecto a Σ' . En el sistema Σ' el ángulo θ' es menor que el ángulo θ ya que en este se desplaza en la dirección del movimiento, si se quiere encontrar el campo eléctrico en el punto P separamos en las componentes el campo eléctrico \vec{E} en el sistema Σ como lo muestra la **Figura 4**.

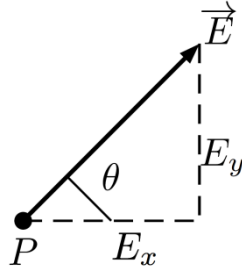


Figura 4: Componentes del campo \vec{E} en el sistemas de referencia Σ

Entonces el campo \vec{E} en cada una de sus componentes será:

$$E_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qx}{(x^2 + y^2)^{3/2}} \quad (12)$$

$$E_y = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \sin \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qy}{(x^2 + y^2)^{3/2}} \quad (13)$$

El sistema Σ' se mueve con velocidad \vec{v} , para conocer el campo eléctrico \vec{E}' se utiliza el grupo de transformaciones de la **Tabla 1** que se encuentra el **apéndice A** y las ecuaciones (7) y (10) que se encontraron anteriormente, el campo eléctrico en las componentes de los ejes de las x y x' se desplaza paralelamente al movimiento y el eje y' perpendicularmente por lo tanto en ese eje hay una contracción en el sentido del movimiento se tendrá que el campo eléctrico es:

$$E'_x = E_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\gamma Q x'}{((\gamma x')^2 + y'^2)^{3/2}} \quad (14)$$

$$E'_y = \gamma E_y = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\gamma Q y'}{((\gamma x')^2 + y'^2)^{3/2}} \quad (15)$$

Para encontrar E' hallamos el módulo de este:

$$E'^2 = E'^2_x + E'^2_y \quad (16)$$

$$E'^2 = \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \frac{Q^2(1 - \beta^2)^2}{(x'^2 + y'^2)^2 \left(1 - \frac{\beta^2 y'^2}{x'^2 + y'^2}\right)^3} \quad (17)$$

Esta expresión es la que determina el campo eléctrico de una partícula puntual en movimiento.

2.5 Líneas de campo eléctrico.

Cuando dos partículas cargadas eléctricamente interactúan, ejercen entre si una fuerza eléctrica que nos dice que dos cargas eléctricas se repelen o se atraen con una fuerza que depende de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia esta es la ley de Coulomb

$$\vec{F}_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (18)$$

Esta ley nos dice que no importa que tan separadas estén las cargas, esta fuerza va actuar instantáneamente lo que se conoce como la acción a distancia. Entonces el campo eléctrico se propaga inmediatamente.

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad (19)$$

El campo eléctrico se suele representar mediante líneas de campo que tienen las siguientes propiedades:

- El vector de campo de E es tangente a las líneas de campo eléctrico en todos los puntos.
- Las líneas de campo eléctrico son abiertas, salen siempre de las cargas positivas o del infinito y terminan en el infinito o en las cargas negativas.
- Ningún par de líneas de campo puede cruzarse.
- El número de líneas por unidad de área que atraviesas una superficie perpendicular a las líneas es proporcional a la intensidad del campo eléctrico en un región determinada.

Esta representación del campo electrostático nos permite crear una idea de la intensidad del campo mientras mayor sea la carga de una partícula y más cercan estén mayor es el campo eléctrico. **Figura 5**

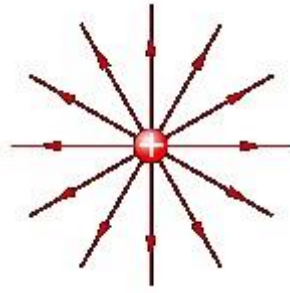


Figura 5: Campo eléctrico de una carga puntual positiva

Pero qué pasa cuando una carga eléctrica se encuentra en movimiento, la representación de las líneas de campo van hacer siempre la mismas.

Clásicamente el campo eléctrico y la representación de las líneas de campo no tienen ningún cambio en el tiempo, independientemente de la velocidad con que la carga se desplace la representación de las líneas de campo no van a cambiar. **Figura 6**

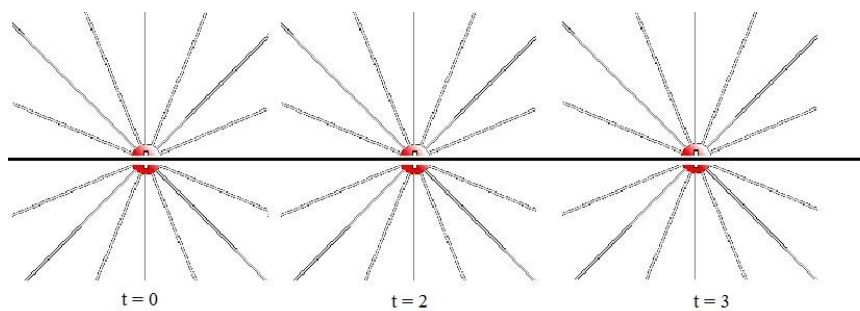


Figura 6: Representación de las líneas de campo de una carga en movimiento desde la teoría clásica.

Una partícula que se encuentre en cualquier punto P detectará siempre el mismo campo ya que la ley de Coulomb no depende de la velocidad de las cargas todas las acciones ocurren instantáneamente.

Con la teoría de la relatividad y con base en los postulados de esta se conoce que la máxima propagación es la de la velocidad de la luz, entonces si tenemos una carga que se desplace a una gran velocidad observamos que las líneas de campo son transversales en la dirección del movimiento.

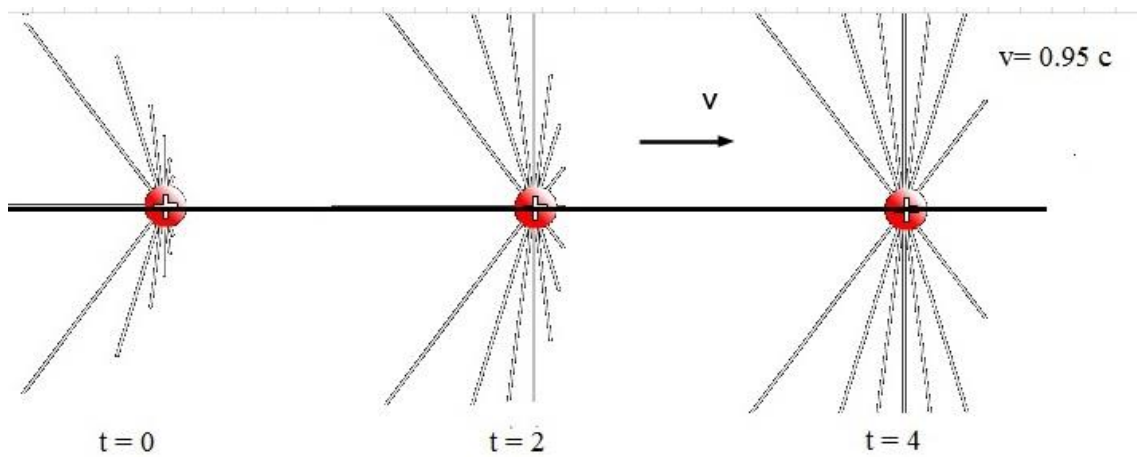


Figura 7: Representación de las líneas de campo de una carga en movimiento desde la teoría de la relatividad.

Pero si partícula cargada se desplaza a una velocidad muy baja la representación de las líneas de campo que se muestran en la **Figura 8** son las mismas que en el caso clásico por lo tanto se puede reducir la ecuación 17 a la ecuación 19 cumpliendo con lo que se sigue cumpliendo con los postulados de la relatividad

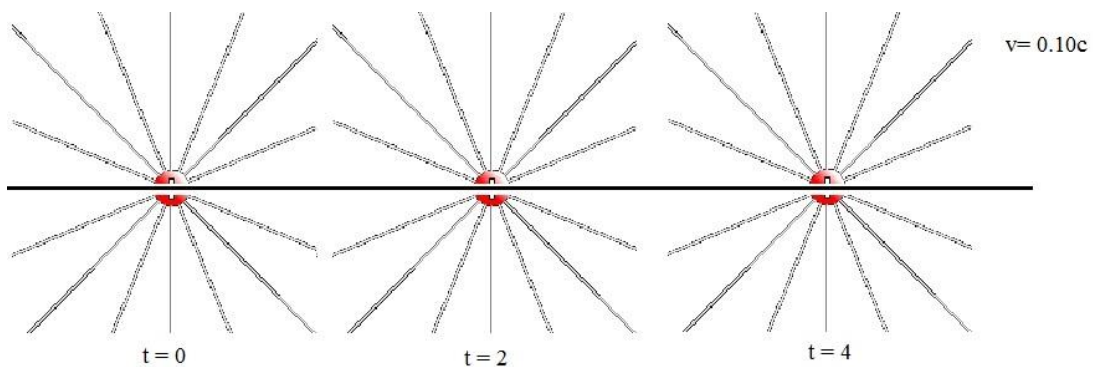


Figura 8: Representación del campo eléctrico de una partícula que tiene una velocidad baja

CAPITULO 3

¿CÓMO USAR CORRECTAMENTE UNA SIMULACIÓN EN EL AULA?

Las simulaciones acercan al estudiante haciéndolo participe y modificador de un sistema físico, donde para comprender debe utilizar conceptos que explican y predicen el comportamiento de dicho sistema. Para ello el sujeto se crea un modelo mental pero ¿Cómo la utilización de simulaciones podría contribuir a la construcción de modelos mentales apropiados? (Santos, Otero, & Fanaro, 2000). En el artículo de Santos, Otero, & Fanaro muestra la discusión que se realiza en torno a los aspectos didácticos y materiales instruccionales que van en acompañamiento a la simulación o herramienta computacional, siempre en la defensiva de que la simulación es interesante porque permite dar cuenta de un fenómeno desde distintos puntos de vista. Los materiales instruccionales irán basados en un modelo matemático que describe los fenómenos físicos allí mostrados. Además si la simulación se realiza sin acompañamiento docente estos materiales de apoyo tendrán una importancia significativamente alta, por el hecho de ser el papel guía durante la manipulación de la simulación.

Teniendo en cuenta el impacto de las herramientas tecnológicas en las investigaciones científicas y lo que en su relación se ha logrado en cuanto a la educación, se pudieron plantear algunas proyecciones del empleo de dichas herramientas en la enseñanza de la física, (Fonseca, Hurtado, Lombana, & Ocaña, 2006). En el artículo de Fonseca, Hurtado, Lombana & Ocaña en donde diseñaron una simulación y un manual de actividades las cuales se implementaron en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en el año 2006 mostraron que el desarrollo físico y matemático que se realiza en la construcción de la teoría debía ser el centro del material de apoyo que acompañaría a la simulación. Ellos recogieron datos de la implementación a estudiantes de ingeniería en telecomunicaciones demostrando que para ciertos temas hace más ameno y que al estudiante se le facilitaría la comprensión de dicho fenómeno físico.

3. Estrategia De Enseñanza:

A continuación, se encuentra la estrategia de Enseñanza diseñada por nosotros, en base a la simulación de campo eléctrico encontrada en EJS en donde se tomaron en cuenta las pautas propuestas en el artículo de (Santos, Otero, & Fanaro, 2000) para que la simulación este acompañada de un buen material de instrucciones, que aparte de dar ilustraciones al

docente a cargo de guiar las actividades, servirá de ejemplo a futuros docentes de una de las tantas maneras de diseñar una estrategia de Enseñanza con base en una simulación computarizada.

El enfoque que tendrá la siguiente estrategia de Enseñanza es la “Enseñanza para la comprensión” porque el objetivo de la estructura y forma de la herramienta es lograr la comprensión del campo eléctrico de una partícula eléctrica en movimiento desde la interpretación del concepto y representación del campo eléctrico de una partícula en reposo.

Para dar el enfoque de “Enseñanza para la comprensión” a la estrategia de Enseñanza se vincula al educando, con problemas y preguntas que sean inherentes a sus intereses y experiencias de vida; al problematizar el proceso de conocimiento se logra que se apropien de los conceptos logrando que la enseñanza del campo eléctrico y su representación gráfica se asocie con su vida cotidiana y por ende ser una noción que esté relacionado directamente con el estudiante y tener una mejor claridad de la teoría.

El marco de la enseñanza para la comprensión el cual orienta la siguiente herramienta de enseñanza es una visión de la educación que pone la comprensión ante todo. Esta forma de concebir la educación nos invita a reflexionar sobre nuestro trabajo en el aula y en la institución de una manera diferente, a utilizar un lenguaje común y nos insta a trabajar en equipo, utilizando una serie de conceptos organizados alrededor de la práctica. Pensar en puente es una imagen que puede ilustrar cómo el Marco nos ayuda a cerrar la brecha entre la teoría y la acción. Podríamos decir que la Enseñanza para la Comprensión es una teoría de la acción con un eje constructivista. (Barrera & León Agustí)

ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA

NÚCLEO PROBLÉMICO: “La electricidad en la cotidianidad”

Actividad 1: Rayos que cayeron en Bogotá.

Tiempo: 20 minutos.

Objetivo: Relacionar los rayos en una tormenta como manifestación de la electricidad en la naturaleza y comprender qué es una descarga eléctrica, cómo se produce y cómo la representación gráfica por medio de partículas puntuales, ayuda a la interpretación de la temática.

Metodología: El estudiante centra la atención en el fenómeno natural, de la formación y visualización de los rayos en una tormenta eléctrica. El formulario que sigue como guía de discusión está orientada entorno a la descarga eléctrica que se produce entre nubes de

lluvia o entre una de estas nubes y la tierra, además de la visualización como trayectorias sinuosas y de ramificaciones irregulares.

Procedimiento:

1. Observe el video (EL TIEMPO Video [Citytv]. (2016, Marzo 16). Rayos y centellas cayeron en Bogotá - Citytv - Marzo 11 [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=ciMAf72QpSg>)

Descripción: En este video podrá el estudiante observar una noticia actual que se publicó por motivo de una tormenta eléctrica ocurrida en Bogotá el 16 de Marzo de 2016, se encuentran imágenes reales de la tormenta de ese día.

2. El siguiente instrumento ayudará a centrar la atención en el fenómeno natural de los rayos en las tormentas eléctricas como visualización de una descarga eléctrica. Para esto deberá responder las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo se forman los rayos en una tormenta eléctrica?
2. Haz oído de los pararrayos ¿Qué son y cómo funcionan?
3. Si los rayos es la visualización de una descarga eléctrica en una tormenta ¿Cómo representarías gráficamente lo que sucede en una tormenta para que sean producidos los rayos? (Dibuja)

Actividad 2: Electricidad estática

Tiempo: 20 minutos.

Objetivo: Relacionar la descarga eléctrica con un fenómeno más cercano y habitual como lo es el de la electricidad estática.

Metodología: El estudiante se relacionará directamente con las cargas eléctricas describiendo la descarga que experimenta con la electricidad estática. Así, se interesará por el estudio de este fenómeno, sintiéndolo más cercano y cotidiano porque es algo que el estudiante ha experimentado de primera mano.

Procedimiento:

1. Observe el video (Canal de Ifna2011 [Ifna2011]. (2011, Diciembre 10). Electricidad Estática [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=cXmQF41hpts>)

Descripción: En este video podrá el estudiante observar un fenómeno que ocurre habitualmente cuando tocamos un material cargado eléctricamente y sentimos una descarga en nuestro cuerpo. Los materiales varían desde la perilla de una puerta o hasta otra persona.

2. Las siguientes preguntas mostrarán al estudiante la cotidianidad y la cercanía de este fenómeno de carga y descarga electrostática:

1. ¿Cómo ha experimentado la electricidad estática?	
2. Escribe las similitudes de la descarga eléctrica observada en una tormenta y la descarga producida por la electricidad estática.	
Tormenta	Electricidad estática experimentada por el cuerpo humano.

Actividad 3: Naturaleza de las cargas eléctricas.

Tiempo: 40 minutos.

Objetivo: Observar la presencia de la fuerza entre cargas eléctricas, deducir experimentalmente la existencia de los dos tipos de carga eléctrica (positiva y negativa) y observar la diferencia del comportamiento de materiales conductores y materiales aislantes.

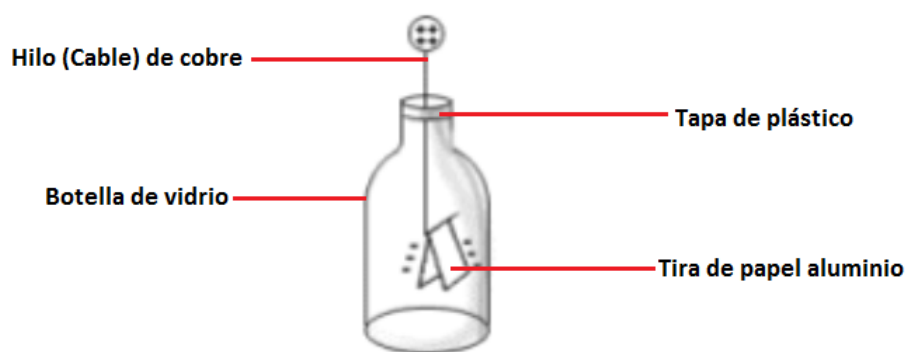
Metodología: Es una práctica de laboratorio en donde se utilizará diversos instrumentos tales como barras de diferentes materiales, trozos de lana y periódico y el electroscopio que será empleado para la detección y observación de las cargas y de algunas de sus propiedades.

Procedimiento:

1. El electroscopio es un instrumento que indica la presencia de cargas eléctricas. Se compone de una varilla metálica que termina en dos hojas de aluminio. Esta varilla atraviesa un soporte de plástico que va unido a una caja provista de ventanas de vidrio para observar las hojas y que al mismo tiempo las protege de las corrientes de aire.

Materiales:

- Una botella de vidrio con tapa plástica.
- Un trozo (50 cm) de hilo de cable de cobre.
- Una lámina de papel aluminio.
- Tela de lana.
- Barra de vidrio.
- Barra de plástico.



2. Sabemos que la materia está formada por átomos, que consisten de un núcleo, en el cual se encuentran unas partículas denominadas protones, otras partículas denominadas neutrones y alrededor giran otras partículas denominadas electrones. En su estado natural un átomo posee el mismo número de electrones que de protones y por tanto es eléctricamente neutro. Un átomo cuando pierde electrones queda cargado positivamente y cuando gana electrones queda cargado negativamente, la manera más sencilla de ganar o perder electrones es por medio de frotamiento.

Proceso para evidenciar la naturaleza de las cargas eléctrica:

- i. Frotar con un trozo de lana, de manera fuerte, una barra de plástico. Posteriormente de su carga dicho instrumento se acerca, sin tocar, al electroscopio, y finalmente se retira.
- ii. Consecutivamente se acercó la barra de plástico luego de haber sido cargada; ésta vez con ella se tocó la esfera del electroscopio.
- iii. Se repitió el mismo procedimiento pero ahora con la barra de vidrio frotado por un trozo de papel periódico.
- iv. Por contacto con una barra de plástico se carga el electroscopio, a continuación se hace contacto a Tierra (polo a Tierra).
- v. Se repite el mismo procedimiento pero ahora con la barra de vidrio.
- vi. Con ayuda de la barra de plástico, se carga el electroscopio por contacto; seguidamente, sin tocar, se acerca la barra de vidrio cargada; rápidamente ésta última se retira y nuevamente con una barra de plástico, ya cargada, se acerca a la esfera del electroscopio.
- vii. Consecutivamente se procede a la realización del anterior paso, cambiando ahora la barra de plástico por la de vidrio.
- viii. Posteriormente se acerca, sin tocar, una barra de plástico cargada al electroscopio, seguidamente y sin retirar la mencionada, se hace contacto a tierra tocando la esfera del electroscopio. Finalmente se retiró el contacto a tierra y la barra, en ese mismo orden.
- ix. Teniendo como referencia el anterior paso, se sigue la experimentación reemplazando ahora la barra de plástico por la de vidrio.
- x. Se procede a la utilización de un alambre de cobre para la unión de dos electroscopios. Se acerca a uno de ellos una barra de plástico cargada previamente. Para terminar éste paso se procedió a acercar la barra de plástico cargada ahora a la mitad del alambre.

3. Para recolectar la información el estudiante recolectara los resultados de la observación después de realizar cada paso o procedimiento, dibujando lo que sucede en cada paso:

i.	ii.
----	-----

iii.	iv.
v.	vi.
vii.	viii.
ix.	x.

4. Para concluir con esta práctica experimental, el estudiante deberá responder las siguientes preguntas:

1. Al observar el comportamiento de las láminas de papel aluminio, ¿Qué interpretación harías? (hablando de carga y descarga tanto del material como del electroscopio)

2. Cuando se unieron dos electroskopios ¿Observaste algo diferente con respecto a lo evidenciado con un solo electroskopio?
3. Se pudo inferir la descarga de un cuerpo, para ponerlo en equilibrio eléctrico, ¿Cómo lo lograste?

ETAPA I: LAS LÍNEAS COMO REPRESENTACIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO

El concepto de líneas de campo o líneas de fuerza fue introducido por Michael Faraday (1791-1867) estas líneas hipotéticas, ayudan a visualizar cómo varía la dirección del campo eléctrico al pasar de un punto a otro en el espacio que rodea la carga eléctrica. Las líneas que se dibujan indican las trayectorias que seguiría una carga puntual (que por lo general es positiva) si se la abandona libremente, por lo que las líneas de campo salen de las cargas positivas y llegan a las cargas negativas.

Actividad 1: Dirección vectorial del campo eléctrico.

Tiempo: 2 horas y 30 minutos.

Objetivo: Dibujar líneas de fuerza que representen el campo de una o más partículas eléctricas.

Metodología: Para iniciar se determinan las características para de la representación gráfica el campo eléctrico. El siguiente instrumento se diseñó para ayudar a identificar los conocimientos previos acertados respecto a dirección, magnitud y cantidad de líneas dibujadas por sistema de cargas.

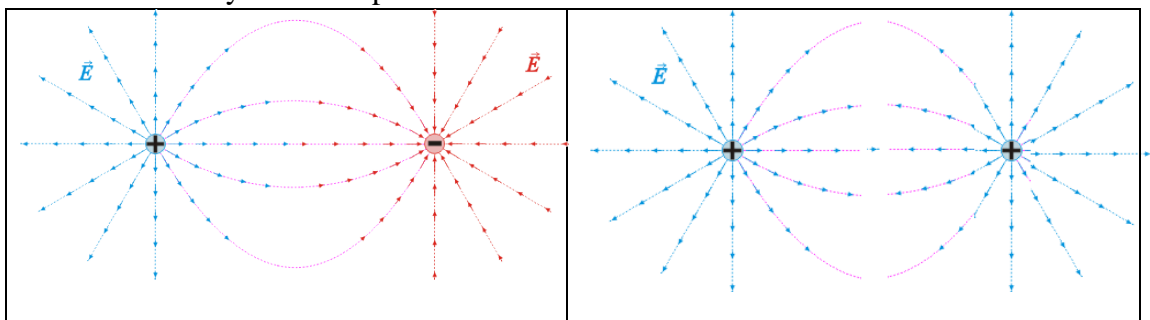
Procedimiento:

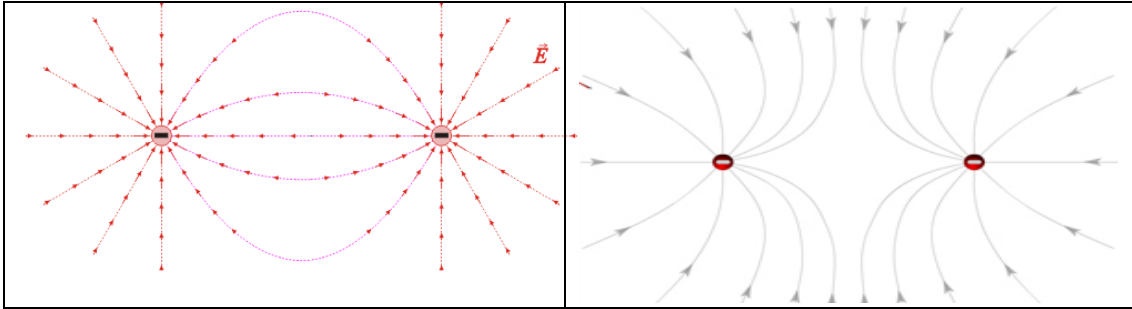
1. Lea las preguntas del instrumento a continuación y marque con una X la respuesta que considere correcta o acertada.

1. El vector campo eléctrico es:	
	a) Tangente a las líneas de campo en cada punto.
	b) Paralelo a las líneas de campo en cada punto.

	c) Perpendicular a las líneas de campo en cada punto.
2.	Las líneas de campo eléctrico son:
	a) Cerradas.
	b) Abiertas.
	c) Cruzadas.
3.	En las cargas positivas:
	a) Las líneas de campo entran.
	b) Las líneas de campo salen.
	c) Las líneas de campo entran y salen consecutivamente.
4.	En las cargas negativas:
	a) Las líneas de campo entran.
	b) Las líneas de campo salen.
	c) Las líneas de campo entran y salen consecutivamente.
5.	El número de líneas de campo que se dibujan alrededor de una partícula es:
	a) Inversamente proporcional a dicha carga.
	b) Proporcional a dicha carga.
	c) Las que crea convenientes.
6.	La densidad de líneas de campo en un punto es:
	a) Proporcional al valor de la carga en dicho punto.
	b) Inversamente proporcional al valor del campo eléctrico en dicho punto.
	c) Proporcional al valor del campo eléctrico en dicho punto.
7.	Las líneas de campo:
	a) No pueden cortarse.
	b) Pueden cortarse.
	c) Se cortan en ciertos puntos.
8.	Cada línea de campo se representa como un vector, cuya dirección y sentido es:
	a) El de la fuerza eléctrica que actúa sobre una carga de prueba positiva.
	b) El observado en la naturaleza.
	c) El del campo eléctrico producido por esa carga.
9.	Si hay exceso de carga positiva:
	a) Se dibujan líneas de campo que salen del infinito.
	b) Se dibujan líneas de campo que acaban en el infinito.
	c) Se dibujan muchas más líneas de campo.
10.	Si hay exceso de carga negativa:
	a) Se dibujan líneas de campo que acaban en el infinito.
	b) Se dibujan muchas más líneas de campo.
	c) Se dibujan líneas de campo que salen del infinito.




2. Observe a continuación las siguientes imágenes y marque con una X cuál (es) son correctas y de una explicación de ello:

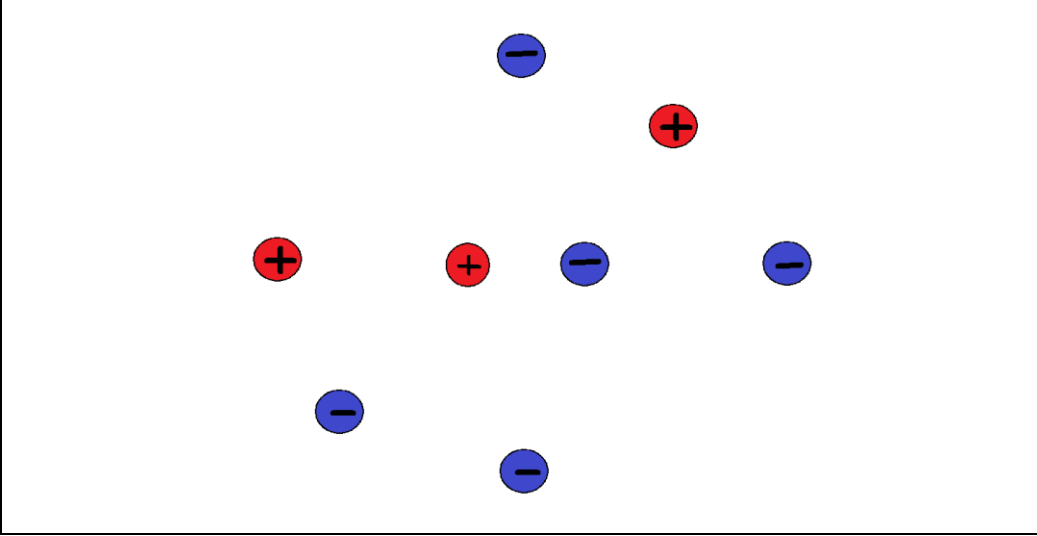
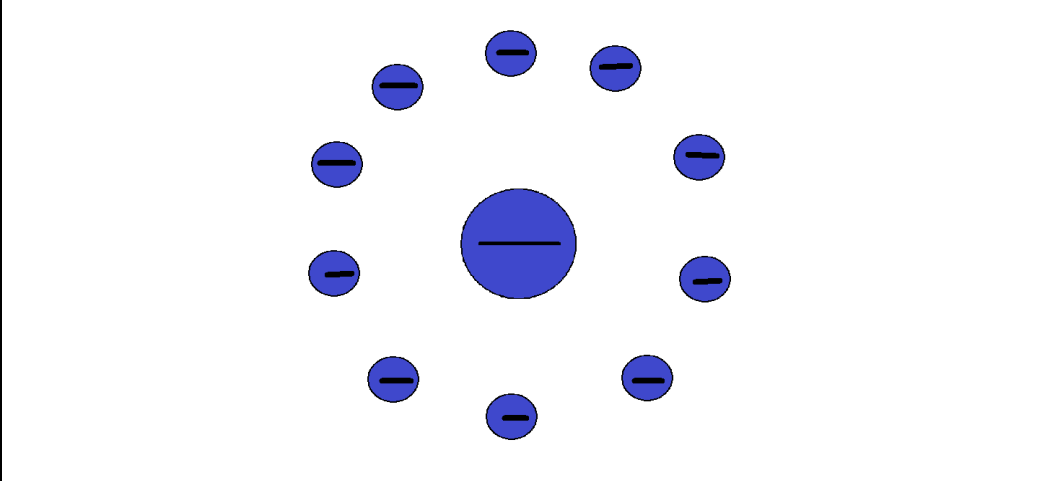
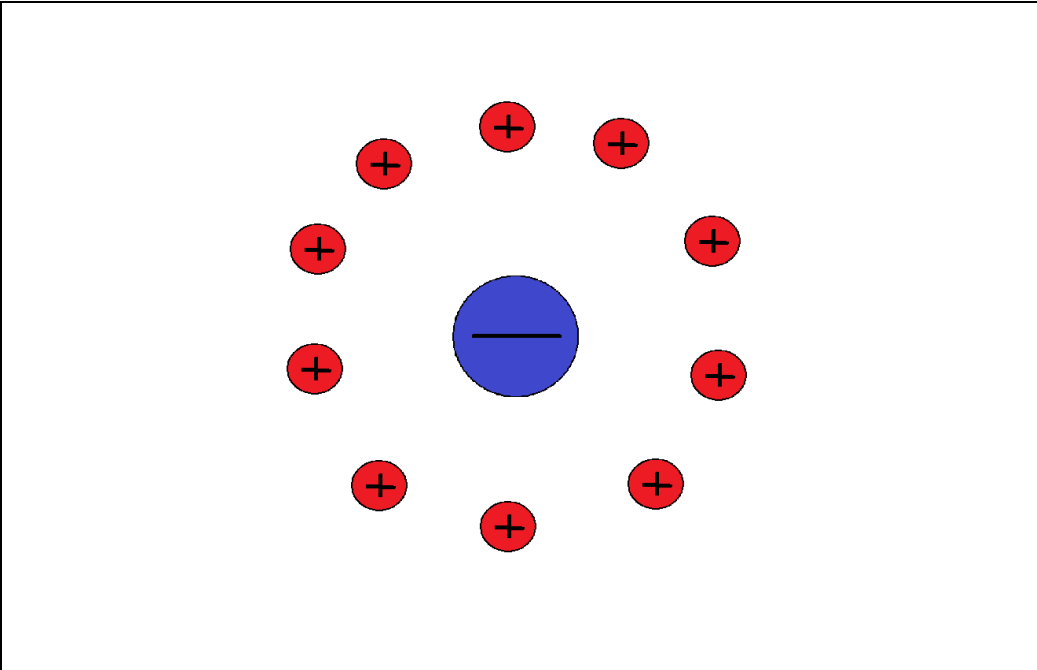


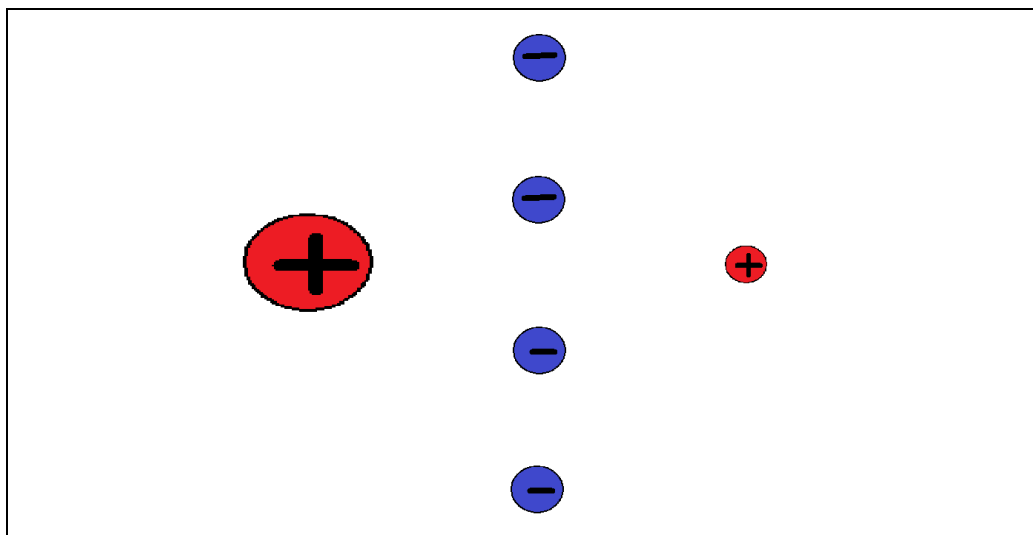


Explicación: _____

3. Dibuje y reflexione como consideraría la representación del campo eléctrico para los siguientes sistemas de cargas: (Considere que el tamaño de la carga es equivalente al valor de la misma). Aquí el docente hace aclaraciones respecto a la dirección de las líneas de acuerdo a la carga, si es positiva hacia afuera y si es negativa hacia adentro.





4. Luego de haber terminado las actividades, el docente encargado de guiar el instrumento, analizará las dificultades y fortalezas de los estudiantes a nivel individual y general. Además se registrará por escrito las respuestas a las siguientes preguntas:
- ¿Cuál fue la mayor dificultad observada?
 - ¿Cuántos estudiantes tenían mayor claridad sobre la representación gráfica del campo eléctrico?
 - ¿Cómo al dibujar las líneas de campo, en los diferentes sistemas de cargas, se evidencio el uso de las características observadas en el primer instrumento?

Actividad 2: Usando una simulación para afianzar el concepto de línea de campo eléctrico.

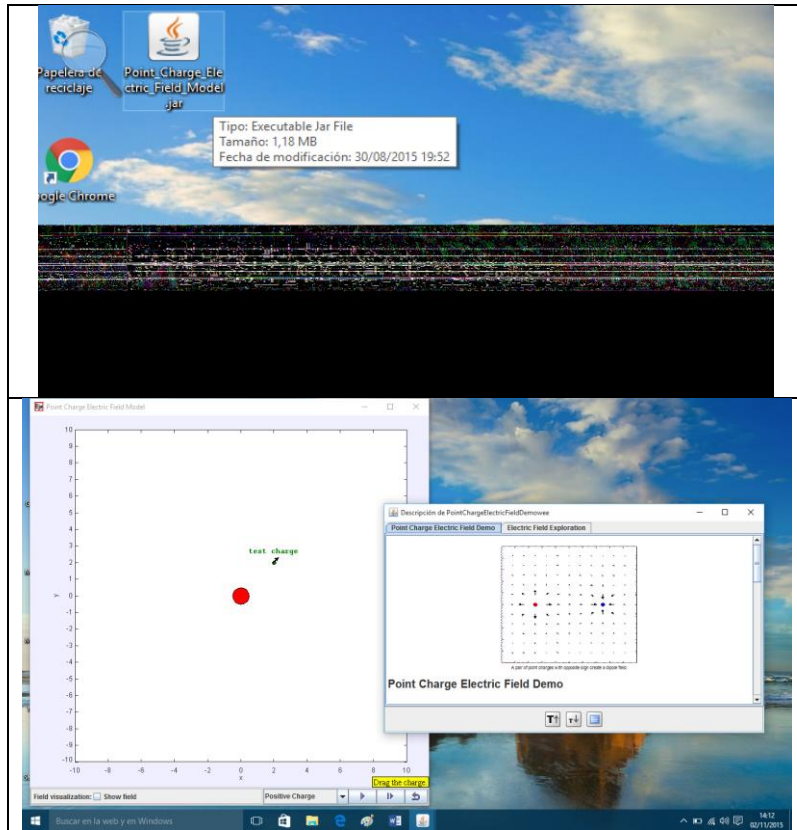
Tiempo: 4 horas y 30 minutos.

Objetivo: Fortalecer el uso de representaciones gráficas para aclarar que las líneas de fuerza interpretan el campo eléctrico de manera descriptiva.

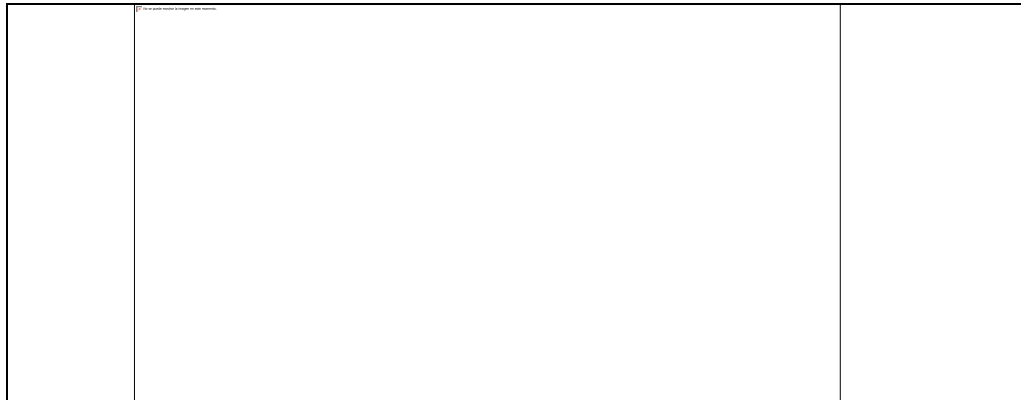
Metodología: Se inicia la actividad dando a conocer la simulación en donde se va a trabajar, explicando sus interfaces y alcances. Se procede con la manipulación de la simulación por parte de los estudiantes y la realización de algunas actividades.

Procedimiento:

1. Lea las siguientes instrucciones para que la utilización de la simulación sea eficiente:
 - I. El computador en donde se va a ejecutar la simulación debe tener Java instalado y actualizado.
 - II. Guarde la simulación en una ubicación o directorio que recuerde, preferiblemente el escritorio.
 - III. Oprima doble clic en el archivo Point_Charge_Electric_Field_Model.jar en el directorio donde lo haya guardado:

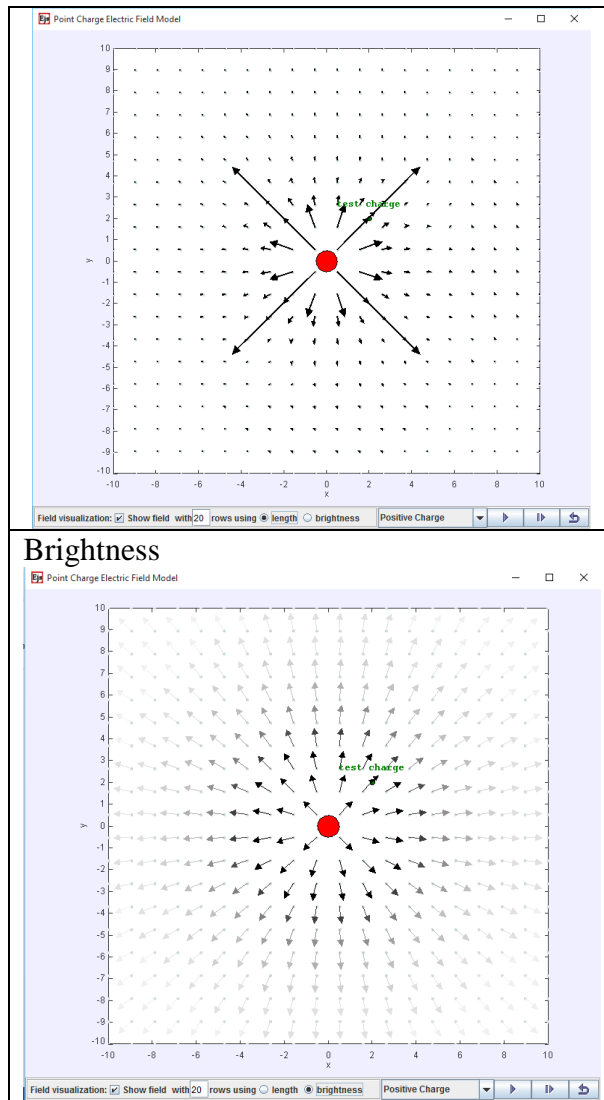


IV. En la pantalla principal del simulador encontrará las opciones de visualización del campo eléctrico vectorial de la (s) cargas:

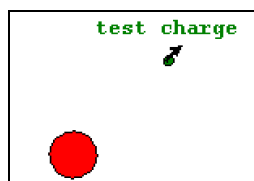


Tanto el número de filas de líneas vectoriales que salen de la carga, la longitud y la imagen de las líneas. El siguiente es un ejemplo utilizando las dos opciones de visualización y con 20 filas (Rows) de líneas:

Length:



V. Desde el momento en que se ejecutó el programa observamos una partícula roja la cual es de carga positiva acompañada de una mini partícula de color verde llamada “Test Charge” o carga de prueba con carga positiva:



Esta partícula nos ayuda a observar el movimiento y la trayectoria que es generada por la fuerza eléctrica entre la partícula (as) y la carga de prueba.

VI. También se tiene a la vista estos tres botones:

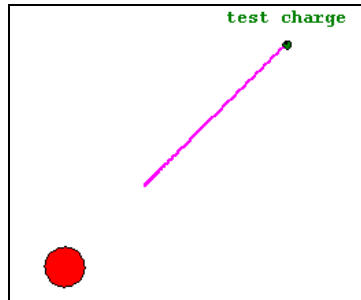


Los cuales son:

Play: Al poner en marcha la simulación la partícula verde realiza su recorrido dependiendo del campo generado por la (as) carga (as) y deja la traza de su trayectoria.

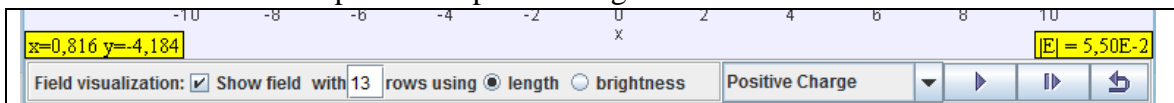
Pause: Detiene la simulación y la carga de prueba se frena en el punto final de la trayectoria que alcanzó hasta ese momento, además deja a la vista el trazo de la trayectoria que realizó.

Reset: Este reinicia toda la simulación y vuelve a mostrar la pantalla inicial.

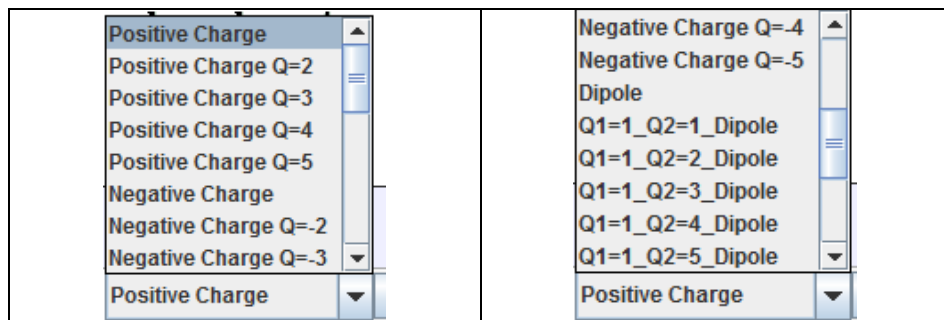


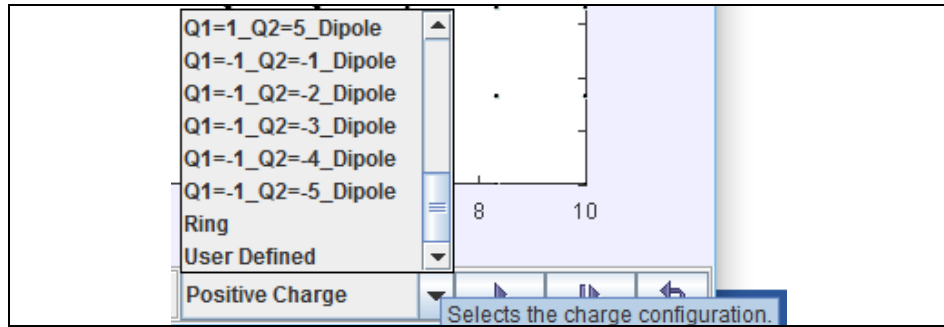
VII. Con el mouse puede ubicar la carga de prueba en cualquier otro lugar dentro del espacio.

VIII. Además oprimiendo clic en cualquier lado del simulador, siempre y cuando sea dentro del cuadro que contiene la (as) carga (as) podrá obtener las coordenadas del punto oprimido y el valor de la magnitud del campo eléctrico producido por esa carga.



IX. El menú en donde inicialmente sale Positive Charge podrá manipular y cambiar el sistema de cargas que quiere que aparezcan en el simulador y observar la configuración de las líneas que representarían el campo que ellas producen.





X. La simulación consta de otra ventana que tiene dos pestañas y en ellas podrá observar la descripción de la simulación:

Point Charge Electric Field Demo:

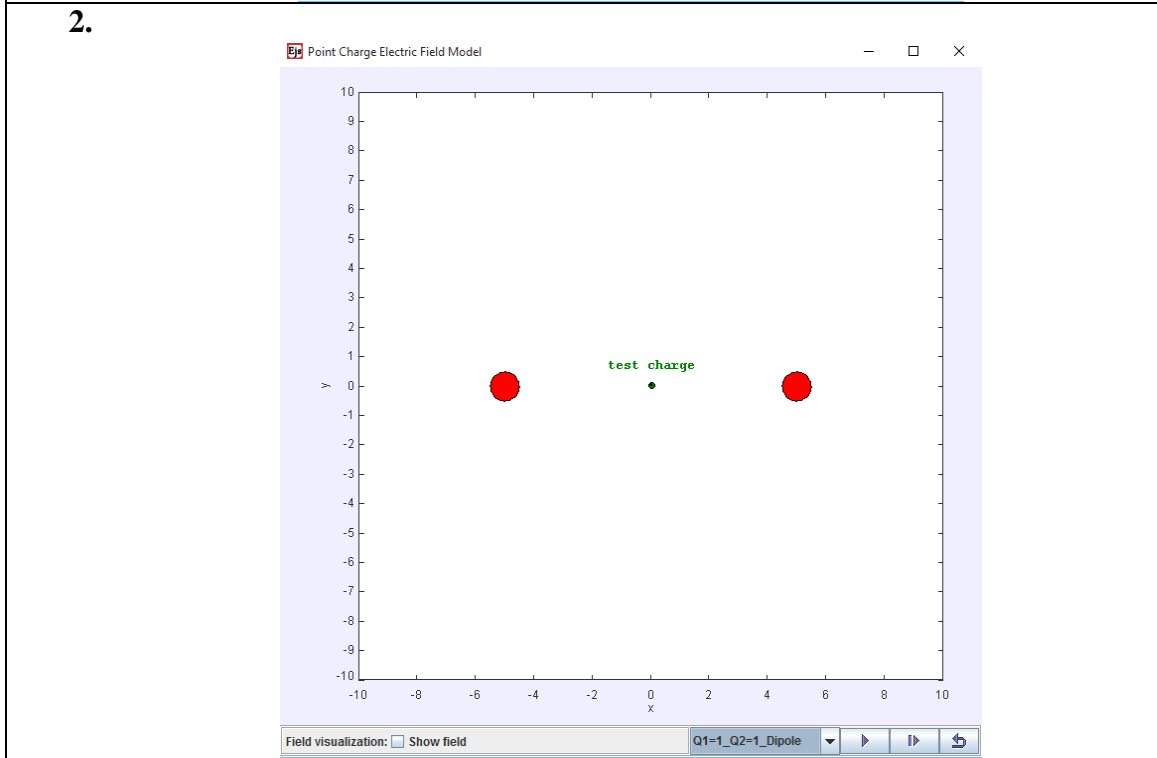
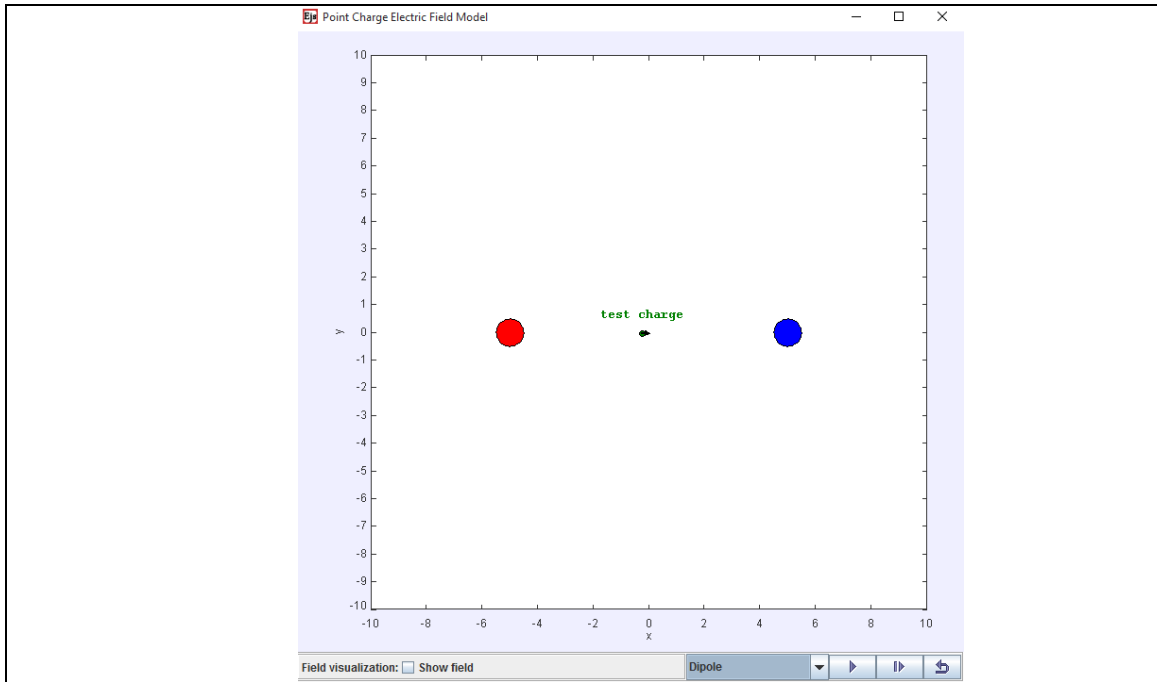
<p>Point Charge Electric Field Demo</p> <p>The Point Charge Electric Field Demo model shows the electric field with multiple point charge configurations and vector field visualizations. Users can select these configurations from a drop-down menu or can create their own configurations.</p> <p>The electric field is defined as the force per unit charge that would be experienced by a very small test charge at a given location. The Point Charge Electric Field Demo model shows an ideal test charge with an arrow that represents the field at the test location. The numerical field magnitude is shown in a textbox near the bottom of the view as the test charge is dragged.</p> <p>Because the electric field changes dramatically in the vicinity of a charged particle, it is difficult to visualize its global properties using only a single test charge. A good way to visualize the field's geometric structure is to use a test charge grid. Test charges are placed uniformly and the force per unit charge is shown at each test charge location. Users can select the number of locations and can use either arrow length or brightness (grayscale) to show the field's magnitude at the grid point.</p> <p>Teaching Objectives</p> <p>Forces, Energy and Fields</p> <p>Attractive and repulsive interactions at a distance (e.g., gravitational, magnetic, electrical and electromagnetic) can be described and explained using a field model.</p> <p>Learning Goal</p> <p>Students understand that the field model explains how objects exert attractive and repulsive forces on each other at a distance; their fields are the agents of the interaction.</p> <p>Essential Knowledge</p> <ol style="list-style-type: none"> The field of a source (e.g., a particle with charge) depends only on the properties of the source and the position of an object relative to the source, not on any properties of objects placed in the field (e.g., a test charge). The field of an object is always there, even if the object is not interacting with anything else. The strength of the electric field at a certain location is given by the electric force per unit of charge experienced by a test object placed at that location. If the electrical field at a certain position is known, then the electrical force exerted by the source of that field on any object at that position can be calculated by multiplying the field strength (E) and the charge of the object. <p>Credits:</p> <p>The Point Charge Electric Field Demo model was created by Wolfgang Christian using the Easy Java Simulations (EJS) modeling tool version 4.3.1. You can examine and modify the model for this simulation if you have EJS installed by right-clicking within the program and selecting "Open EJS Model" from the pop-up menu.</p> <p>Information about EJS is available at http://www.umass.edu/physics/ejs/ and in the CSEdFONE collection: http://www.cse.dfn.de/cse/</p>	<p>Electric Field Exploration</p> <p>Use the drop-down menu to select the Custom Defined configuration to create and position up to ten charges.</p> <p>First, examine the field around a single 1 unit charge. What does the field look like? Increase the charge to 2 units. How is that field configuration different? Change to charge to -2. What is the difference? Notice that the strength of the field can be represented by either arrow length or brightness (grayscale). When the charge is switched from positive to negative, the electric field vectors change direction. A positive charge has field vectors that point radially outward and a negative charge has field vectors that point radially inward.</p> <p>Clear the charges and add two positive charges of the same magnitude. Notice that since the charges are added at the center, you must drag a charge away to see the one underneath. How is the field different with two charges compared with one? Move one of the charges closer and further away from the other one. When the charges are sitting on top of each other, what does the field look like? When you move them far apart, what does it look like? Notice that the fields add together (in adding more than one vector addition). The fact that the electric field at any point is the vector sum of the electric fields due to the surrounding charges is a consequence of the principle of force superposition. The force on a test charge is due to the sum of the Coulomb forces from the surrounding charges and the field vectors point in the direction of the electric field due to all the charges.</p> <p>What do you predict the field will look like with two negative charges (of equal magnitude)? Try it. What are the similarities and differences between the two positive and two negative charge distributions?</p> <p>What about a dipole, one positive and one negative charge? How is it the same or different from two charges of the same sign? What is the direction of the field at the midpoint between the charges? The vector field can again be described in terms of the vector sum of the field from the two particles. What happens to the electric field if you place a two dipole charges at the same location?</p> <p>Try two charges of different magnitude. What does the field look like? Notice that there is a point where the electric field is zero directly in between the two charges. If you added a third charge at that spot, what do you predict the force on it would be?</p> <p>Add three or four charges and look at the field. Pick one point of the electric field and explain why it points in the direction it does. How can you tell, simply by looking at the field (and not the color on the charges), which ones are positive and which ones are negative? How can you tell about ones that are more charged?</p>
--	--

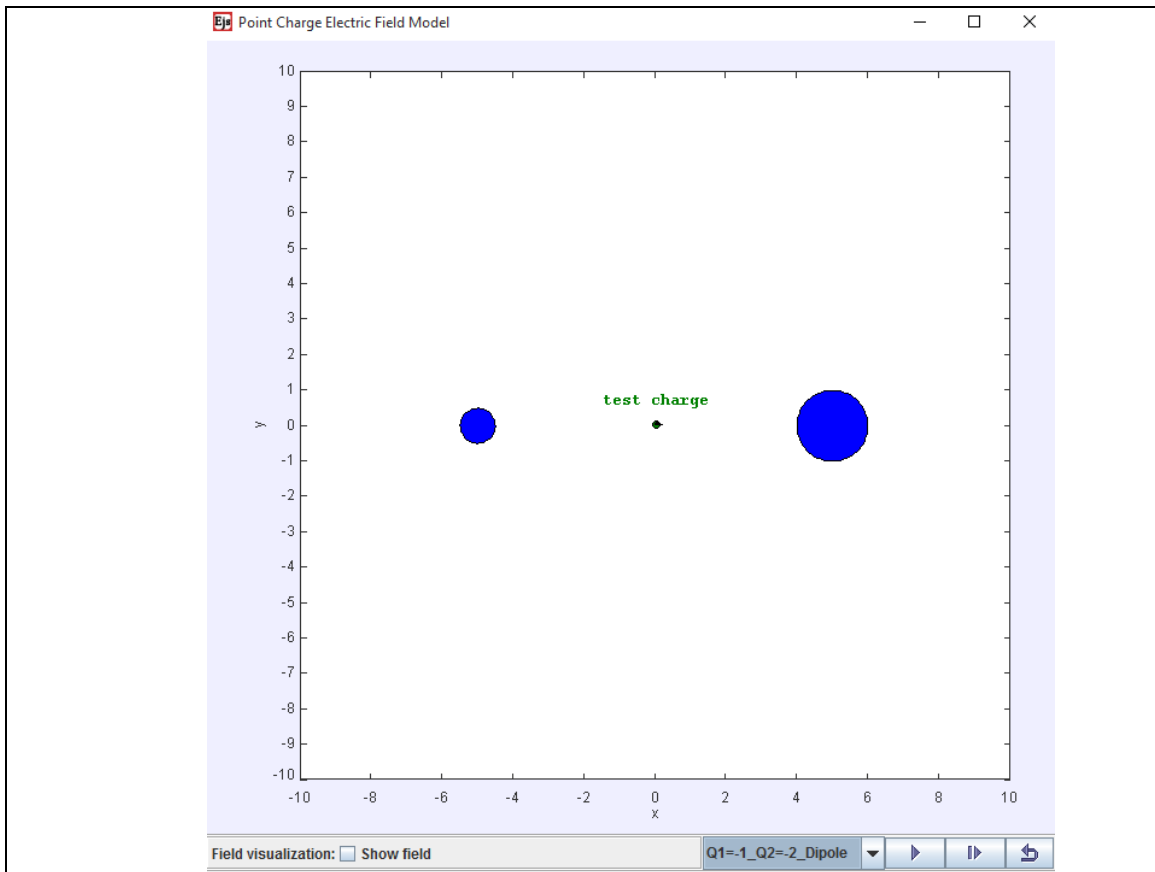
2. Luego de dar a conocer y explicar las pantallas interactivas de la simulación el docente a cargo dejara a los estudiantes (preferiblemente dos estudiantes máximo por computador) unos 10 minutos para que ellos conozcan manipulando la simulación, comprobando la descripción dada anteriormente.

3. El objetivo de los siguientes ejercicios es dibujar las posibles representaciones esquemáticas (líneas) del campo eléctrico sobre el papel y luego contrastar el diseño con el simulador; además se encontrara con algunos ejercicios en los cuales tendrá que dibujar la trayectoria de la carga de prueba en diferentes situaciones:

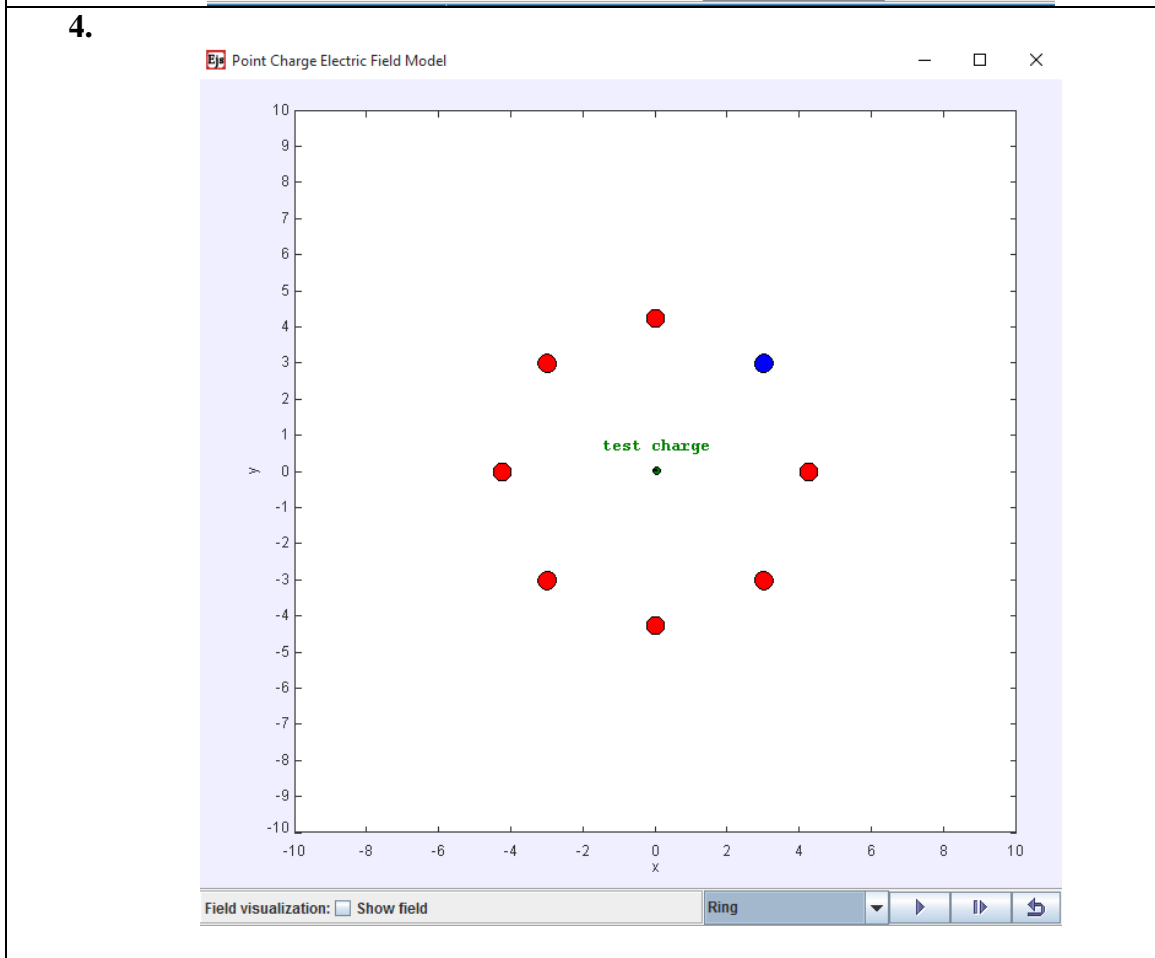
Dibuje las líneas de campo y la trayectoria de la carga de prueba para:

1.

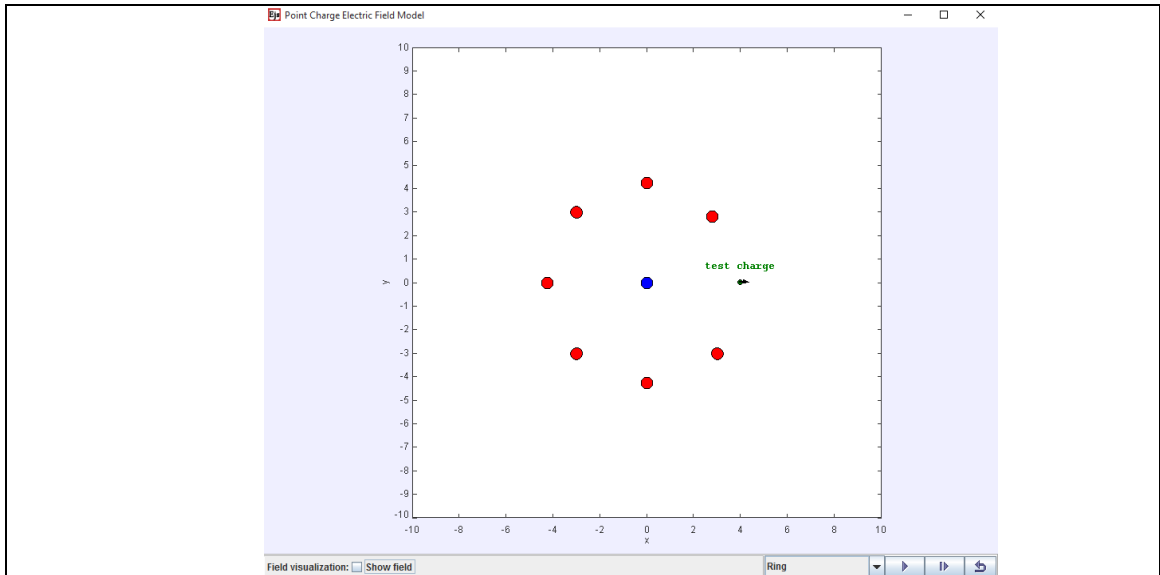




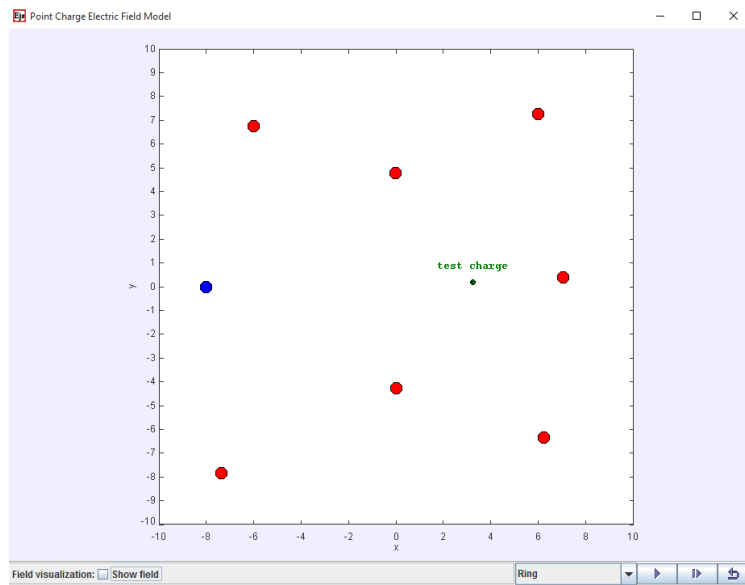
4.



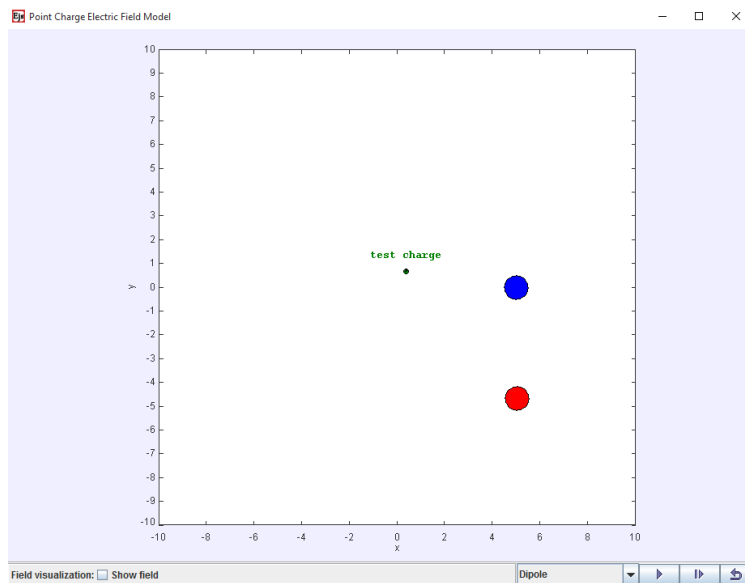
5.



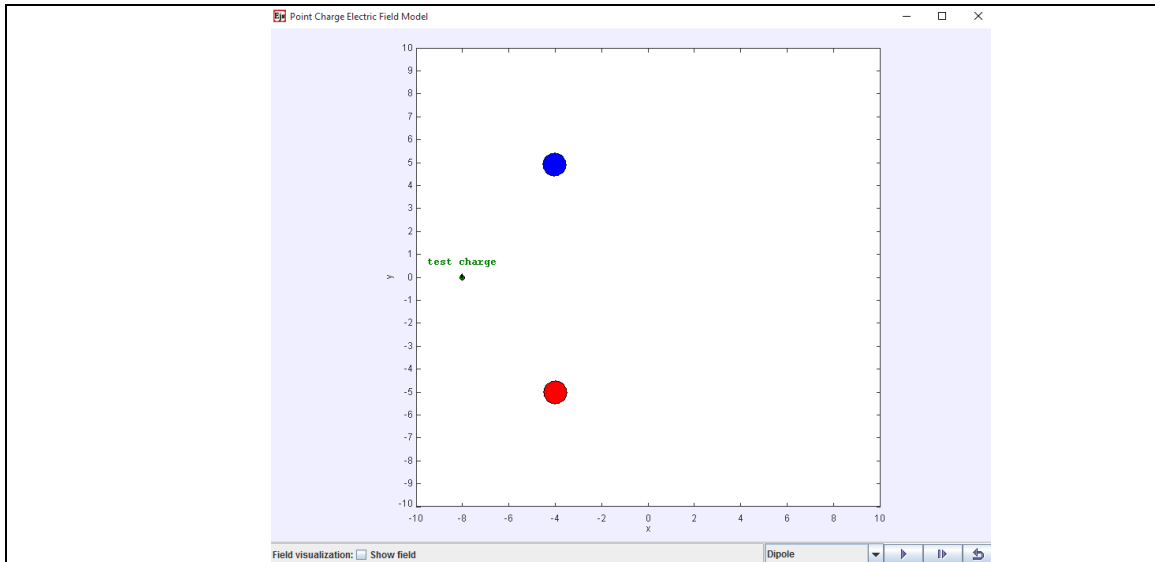
6.



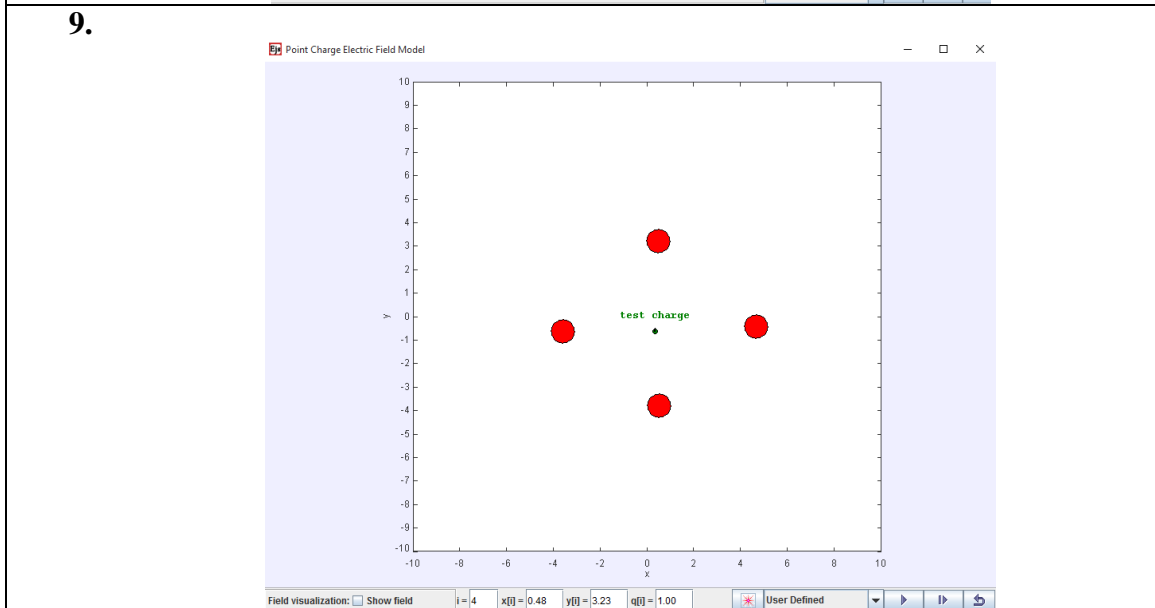
7.



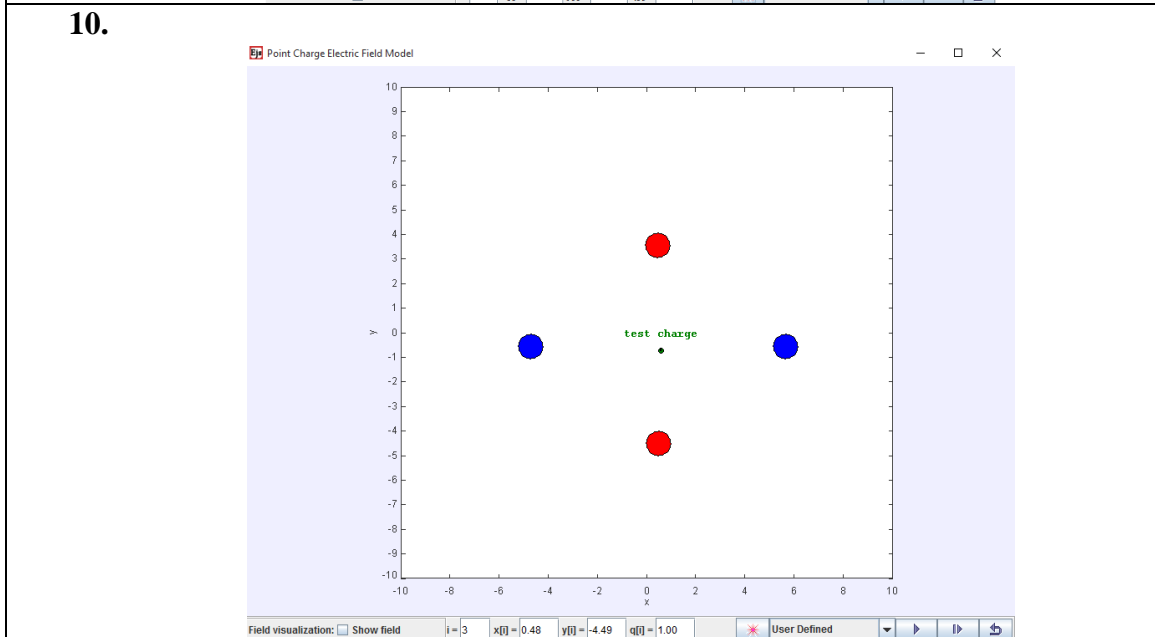
8.



9.



10.



4. Al finalizar cada diseño del campo manualmente el docente encargado estará presente cuando el estudiante corra la simulación con el sistema de partículas específico y verifique su respuesta. Para la recopilación de si acertó o fallo en el contraste, el docente tendrá el siguiente instrumento para registrar por escrito:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Las letras representaran a los estudiantes podrán estar organizados por códigos o apellidos. Y los números del 1 al 10 serán los diseños del campo que deben realizar. En cada casilla se pondrá V (Si acertó tanto en las líneas como en el recorrido de la carga de prueba), F (Si falló tanto en las líneas como en el recorrido de la carga de prueba) y V/F (Si acertó en alguna de las dos).

Actividad 3: Midiendo la magnitud del campo eléctrico en algún punto del espacio.

Tiempo: 6 horas.

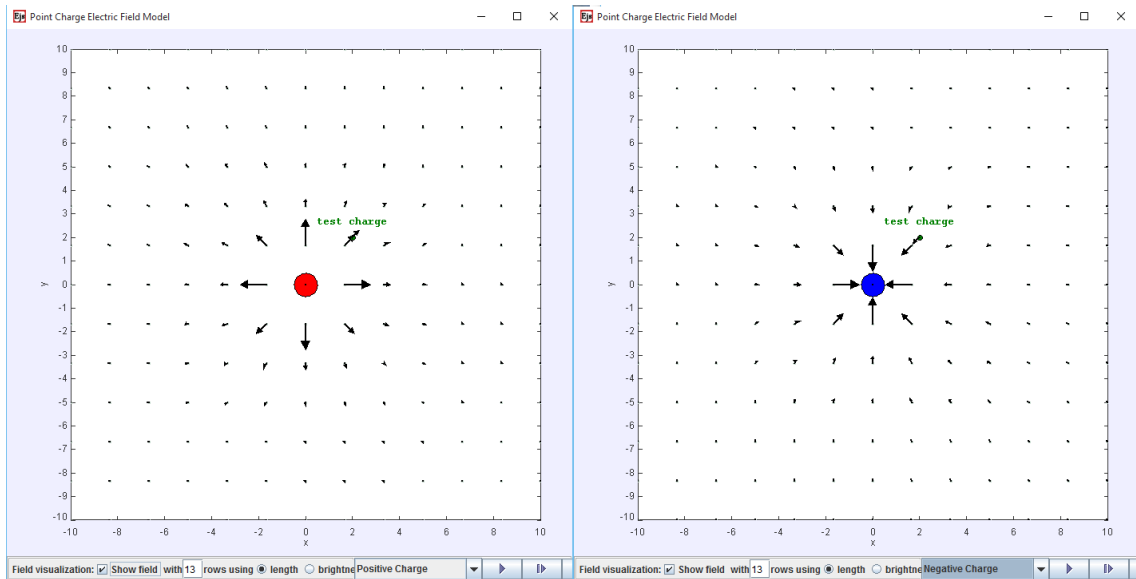
Objetivo: Contrastar el valor de la magnitud del campo eléctrico mostrada en la simulación con la calculada manualmente por el estudiante o participante de esta estrategia.

Metodología: Para comenzar se desarrolla una breve explicación de cómo se halla el valor del campo eléctrico, aquí se mostraran las ecuaciones necesarias para el cálculo. Sigue la exposición del código de la simulación para entender como fue diseñado y así observar el valor en la pantalla interactiva.

Procedimiento:

1. Lea la siguiente explicación:

El campo eléctrico se define como la fuerza eléctrica por unidad de carga. La dirección del campo se toma como la dirección de la fuerza que ejercería sobre una carga positiva de prueba. El campo eléctrico está dirigido radialmente hacia fuera de una carga positiva y radialmente hacia el interior de una carga puntual negativa.



Para realizar el cálculo del campo eléctrico en un caso donde no sabemos cuál es la carga que genera el campo ni a que distancia se encuentra, se utiliza una segunda carga de prueba. Por lo tanto, si sabemos que hay un campo generado por otra carga que no conocemos, ponemos una segunda carga cuyo valor conocemos y medimos la fuerza actuante sobre la misma. Debemos utilizar una carga (que por convención es positiva) muy pequeña de tal manera de que no modifique el campo eléctrico que medimos.

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (20)$$

F =Modulo de la fuerza.

q_0 = Valor de la carga de prueba.

E =Valor del campo eléctrico en ese lugar donde está ubicada la carga de prueba. Para un caso donde si conocemos la carga que genera el campo y a qué distancia se encuentra, podemos determinar el campo a una determinada distancia de la misma.

$$E = \frac{kq}{d^2} \quad (21)$$

La constante k determina la permitividad eléctrica del vacío:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,9876 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

2. El cálculo de la magnitud del campo eléctrico que efectúa la simulación consiste en el siguiente código:

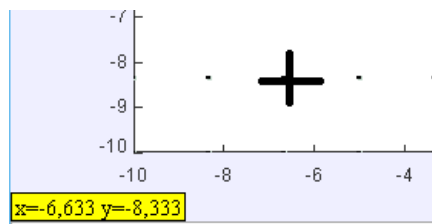
```

dx=xm-x[p];
dy=ym-y[p];
r2=dx*dx+dy*dy;
r3=r2*Math.sqrt(r2);
ex += q[p]*dx/r3;
ey += q[p]*dy/r3;

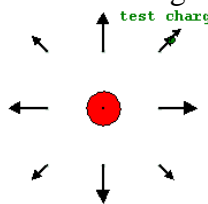
e=Math.sqrt(ex*ex+ey*ey);
dragMsg="|E| = "+_view.format(e,"0.00E0");

```

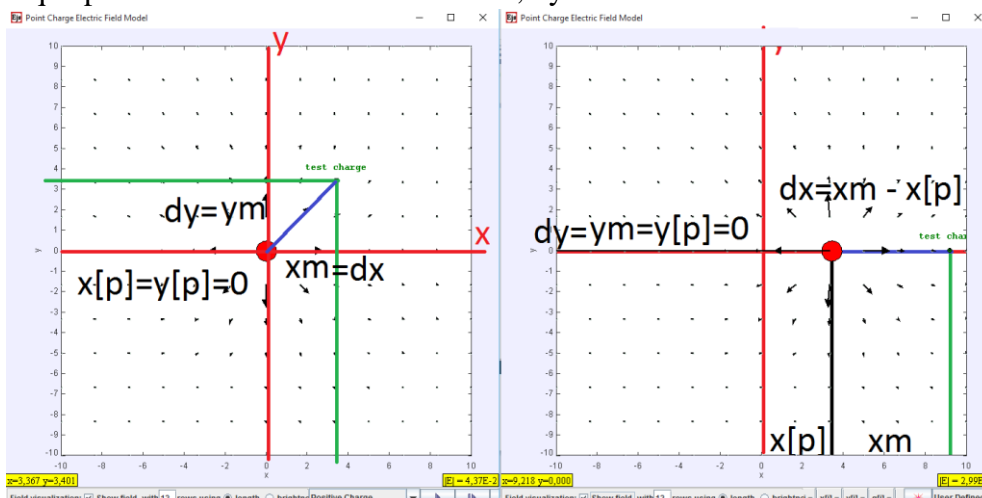
En donde x_m ; y_m corresponden a las coordenadas x ; y respectivamente del cursor del mouse, recuerde que al hacer clic en cualquier lugar del espacio vectorial de la simulación en la esquina inferior izquierda observará las coordenadas en donde efectuó el clic:



$x[p]$; $y[p]$ son las coordenadas x ; y respectivamente de la partícula a la cual se le está calculando el campo eléctrico. Por ejemplo de la partícula positiva observada al ejecutar la simulación tendrá $x[p]=0$; $y[p]=0$ Porque se encuentra en todo el centro de la cuadrícula y por lo tanto en el origen este y punto (0,0):



dx ; dy Es la distancia existente entre la partícula y la carga de prueba, por eso corresponde a la resta entre la coordenada de la carga de prueba y la coordenada de la partícula cada una correspondiente para cada eje, lo siguiente es un ejemplo que podrá aclarar la definición de dx ; dy :



r_2 es la suma de los cuadrados de las distancias de x ; y

$$r^2 = dx * dx + dy * dy \quad (22)$$

$$r^2 = dx^2 + dy^2 \quad (23)$$

Por lo tanto r^3 será la suma de los cuadrados de las distancias elevadas a la 3/2 pero por conveniencia en el programa:

$$r^3 = r^2 \sqrt{r^2} \quad (24)$$

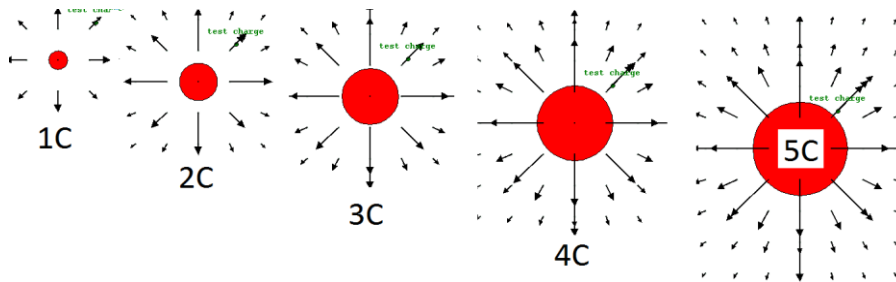
$$r^3 = (dx^2 + dy^2) \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (25)$$

$$r^3 = (dx^2 + dy^2)^{1.5} \quad (26)$$

Y por ley de los exponentes:

$$r^3 = (dx^2 + dy^2)^{\frac{3}{2}} \quad (27)$$

Para lo que sirve $q[p]$ en el programa es para ubicar la carga y por ende busca el valor de esta en ese punto, como en la simulación el valor de la carga es proporcional al tamaño de esta, recuerde que:



Y la unidad de la carga es el culombio o coulomb (C). Por lo tanto para la partícula negativa (la azul) será lo mismo pero con signo menos (-1C, -2C, -3C,...).

Como la constante de permitividad del vacío es demasiado grande, dentro del programa lo toman como $k=1$, por lo tanto como el programa calcula el campo eléctrico por componentes o sea en el eje x y en el eje y para posteriormente sacar la magnitud del campo, así:

$$E_x = q[p] * \frac{dx}{r^3} \quad (28)$$

$$E_y = q[p] * \frac{dy}{r^3} \quad (29)$$

Por lo tanto el orden en que el programa realiza los cálculos es el siguiente:

- $dx = xm - x[p]$
- $dy = ym - y[p]$
- $r2 = dx^2 + dy^2$
- $r3 = r2 * \sqrt{r2} = (r2)^{3/2}$
- Luego ingresa estos resultados en las ecuaciones:

$$E_x = q[p] * \frac{dx}{r3} \quad (30)$$

$$E_y = q[p] * \frac{dy}{r3} \quad (31)$$

Para luego obtener los valores del campo eléctrico en cada componente.

El valor que muestra en la simulación como $|E|$ es la magnitud calculada por la ecuación:

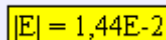
$$|E| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (32)$$

Las unidades que maneja el programa para calcular $|E| = V/cm$ y lo que debe tener en cuenta es que cuando el simulador le bota el valor de x ; y lo está haciendo en metros, para hacer que el valor que usted calcula le concuerde con el de la simulación deberá hacer una conversión de unidades:

$$\frac{V}{m} * \frac{1 m}{100 cm} = \frac{V}{100 cm} \quad (33)$$

Es decir que al final después de tener el resultado de $|E|$ tendrá que dividirlo entre 100.

Además recuerde que en el programa vera algo como esto:



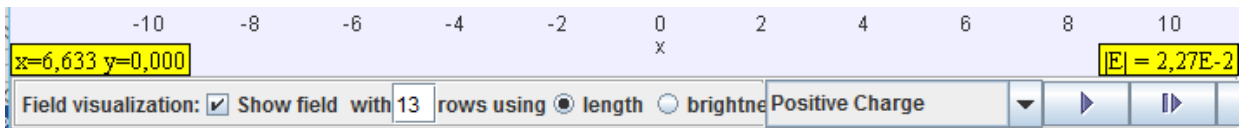
A screenshot of a simulation result showing the magnitude of the electric field, |E|, as 1,44E-2. The text is displayed in a yellow box with a black border.

Lo que significa que la notación E-2 será $\times 10^{-2}$ y en general E-n = $\times 10^{-n}$

3. Teniendo en cuenta las anteriores explicaciones y especificaciones realice el siguiente ejercicio, hallando el valor de la magnitud del campo eléctrico manualmente y luego contrastando su respuesta con el simulador. Recuerde que las coordenadas son del cursor del mouse o sea donde usted oprima o de clic dentro del espacio vectorial:

Por ejemplo: Para las coordenadas $x= 6,633$; $y=0,000$ el campo de una partícula positiva de $1C$ ubicada en el centro del plano será:

- $dx = 6,633 - 0 = 6,633$
- $dy = 0 - 0 = 0$
- $r^2 = (6,633)^2 + (0)^2 = 43,996$
- $r^3 = 43,996 * \sqrt{43,996} = (43,996)^{3/2} = 33,1384$
- $E_x = (1 * 6,633) \div 33,1384 = 0,20016 \frac{V}{m}$
- $E_y = (1 * 0) \div 33,1384 = 0$
- $|E| = \sqrt{0,20016^2 + 0^2} = 0,20016 \frac{V}{m}$
- $0,20016 \div 100 = 2,0016 \times 10^{-3} \frac{V}{cm} = |E|$



Siga los pasos del ejemplo anterior para las siguientes coordenadas complete la tabla:

Partícula positiva = $1C$ ubicada en el centro del plano.				
	X	Y	$ E $ =Observado en el programa	$ E $ =Calculado por usted.
1.	0	5,306		
2.	5,068	0		
3.	4,966	5,000		
4.	-5,068	-5,068		
5.	6,667	-3,367		
6.	-5,000	4,932		

Partícula negativa = $-1C$ ubicada en el centro del plano.				
	X	Y	$ E $ =Observado en el programa	$ E $ =Calculado por usted.
1.	0	6,667		
2.	8,265	0		

3.	3,265	1,599		
4.	-6,599	-5,034		
5.	6,667	-3,299		
6.	-6,667	1,633		

Para las siguientes tablas arrastra la partícula hasta donde se te indique:

Partícula positiva = 1C ubicada en $x = -3,333$; $y = 1,803$				
	X	Y	E=Observado en el programa	E=Calculado por usted.
1.	0	5,306		
2.	5,068	0		
3.	4,966	5,000		
4.	-5,068	-5,068		
5.	6,667	-3,367		
6.	-5,000	4,932		

Partícula negativa = -1C ubicada en $x = 3,367$; $y = 3,333$				
	X	Y	E=Observado en el programa	E=Calculado por usted.
1.	0	6,667		
2.	8,265	0		
3.	3,265	1,599		
4.	-6,599	-5,034		
5.	6,667	-3,299		
6.	-6,667	1,633		

Partícula positiva = 3C ubicada en el centro del plano.				
	X	Y	E=Observado en el programa	E=Calculado por usted.
1.	0	5,306		

2.	5,068	0		
3.	4,966	5,000		
4.	-5,068	-5,068		
5.	6,667	-3,367		
6.	-5,000	4,932		

Partícula negativa = -3C ubicada en el centro del plano.				
	X	Y	 E =Observado en el programa	 E =Calculado por usted.
1.	0	6,667		
2.	8,265	0		
3.	3,265	1,599		
4.	-6,599	-5,034		
5.	6,667	-3,299		
6.	-6,667	1,633		

Para las siguientes tablas arrastra la partícula hasta donde se te indique:

Partícula positiva = 2C ubicada en $x = -3,333$; $y = 1,803$				
	X	Y	 E =Observado en el programa	 E =Calculado por usted.
1.	0	5,306		
2.	5,068	0		
3.	4,966	5,000		
4.	-5,068	-5,068		
5.	6,667	-3,367		
6.	-5,000	4,932		

Partícula negativa = -2C ubicada en $x = 3,367$; $y = 3,333$				
	X	Y	 E =Observado en el programa	 E =Calculado por usted.
1.	0	6,667		

2.	8,265	0		
3.	3,265	1,599		
4.	-6,599	-5,034		
5.	6,667	-3,299		
6.	-6,667	1,633		

ETAPA II: EL MOVIMIENTO DE UNA CARGA ELÉCTRICA Y SU REPRESENTACIÓN GRÁFICA

Ya se ha construido el concepto de línea de fuerza para un campo eléctrico que producen cargas eléctricas en reposo y se verifico de manera gráfica las interacciones entre dos o más cargas eléctricas de distinta naturaleza (positivas y negativas). Gracias a la simulación “Point_Charge_Electric_Field_Model.jar” se observó la trayectoria que seguiría la carga de prueba (partícula positiva) en diferentes sistemas de cargas, siguiendo las líneas de fuerza que representan la dirección del campo eléctrico que lleva a que la partícula de prueba se mueva. El movimiento que se estudiará en la segunda etapa de la estrategia de Enseñanza es el de la carga eléctrica en sí y no de la partícula de prueba. Lo principal aquí es el cambio de representación gráfica (líneas de fuerza) de una partícula en reposo a una en movimiento, para esto también se centrara en una simulación computarizada.

Actividad 1: De lo estático a lo dinámico.

Tiempo: 3 horas.

Objetivo: Encontrar y analizar las diferencias de las líneas de campo para una partícula eléctrica en reposo y en movimiento.

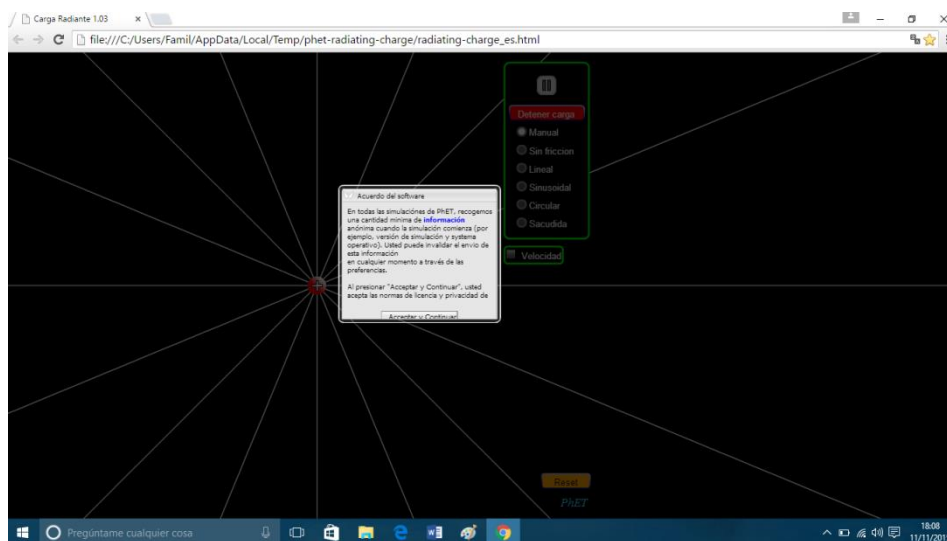
Metodología: Se inicia la actividad dando a conocer la simulación en donde se va a trabajar. Se procede con la manipulación de la simulación por parte de los estudiantes y la realización de algunas actividades, para analizar los cambios cualitativos de la simulación anterior y la nueva.

Procedimiento:

1. Guarde la simulación “radiating-charge_es.jar” que esta anexada a esta estrategia de Enseñanza, en un directorio de rápido acceso:



2. Ejecute el programa, este se abrirá en una ventana de algún navegador (Google Chrome, Microsoft Edge, Mozilla Firefox, u otro).



3. Luego de que abra la ventana del navegador oprima clic en el botón de Aceptar y Continuar. Este paso solo lo tendrá que realizar la primera vez que abra el simulador en su respectivo computador.
4. Esta simulación se encuentra en la red de acceso libre y con licencia académica y pedagógica. En la página web de la Universidad de Colorado de Estados Unidos. La dirección web es: <https://phet.colorado.edu/> diseñada por Michael Dubson y Ariel Paul. El link de la simulación es: <https://phet.colorado.edu/en/simulation/radiating-charge> en donde puedes encontrar algo más de información.

▼ ABOUT

Topics

- Electromagnetic Radiation
- Dipole Radiation
- Electric Field
- Speed of Light

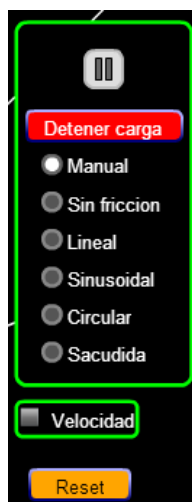
Description

The electric field lines from a point charge evolve in time as the charge moves. Watch radiation propagate outward at the speed of light as you wiggle the charge. Stop a moving charge to see bremsstrahlung (braking) radiation. Explore the radiation patterns as the charge moves with sinusoidal, circular, or linear motion. You can move the charge any way you like, as long as you don't exceed the speed of light.

Sample Learning Goals

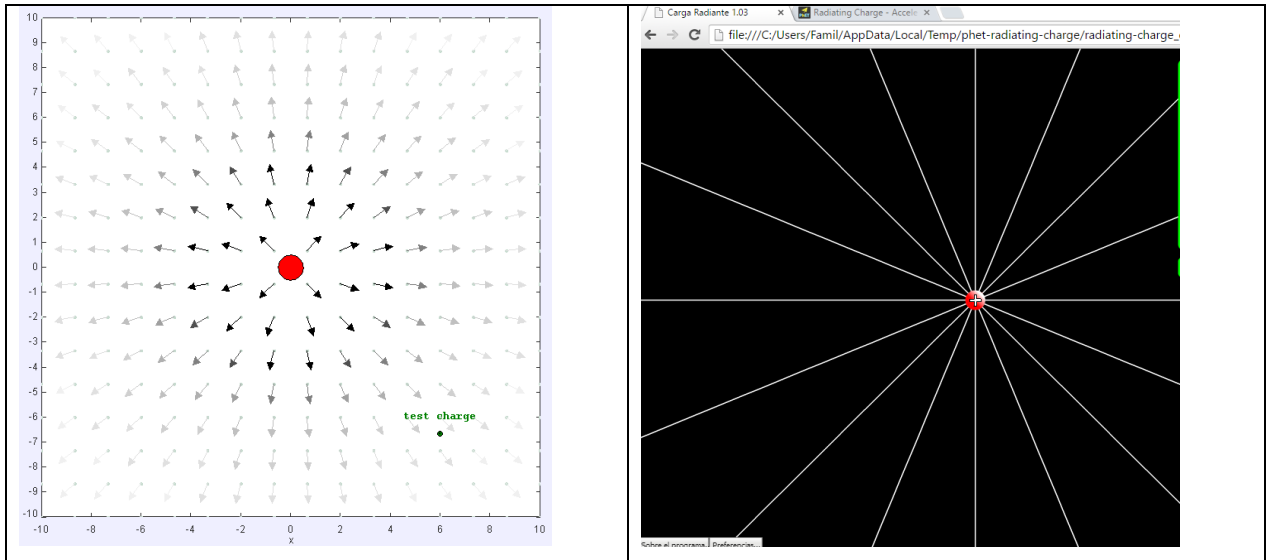
- How the radial field line density depends on the speed of a charge in linear motion (compression of field lines).
- How the anisotropy of the field pattern depends on sinusoidal vs. circular motion.
- How the applied force and motion are related in relativistic dynamics (constant force does not result in faster-than-light travel).
- How acceleration produces transverse fields, while constant velocity produces radial fields.
- For sinusoidal motion, which produces dipole radiation, the field lines evolve from radial and static-like nearby, to transverse and plane-wave-like far away.
- How sudden deceleration of a charge produces bremsstrahlung (braking) radiation.

5. Usted podrá manipular la simulación gracias a estos botones en donde se modificará el movimiento de la partícula positiva que aparece por default.

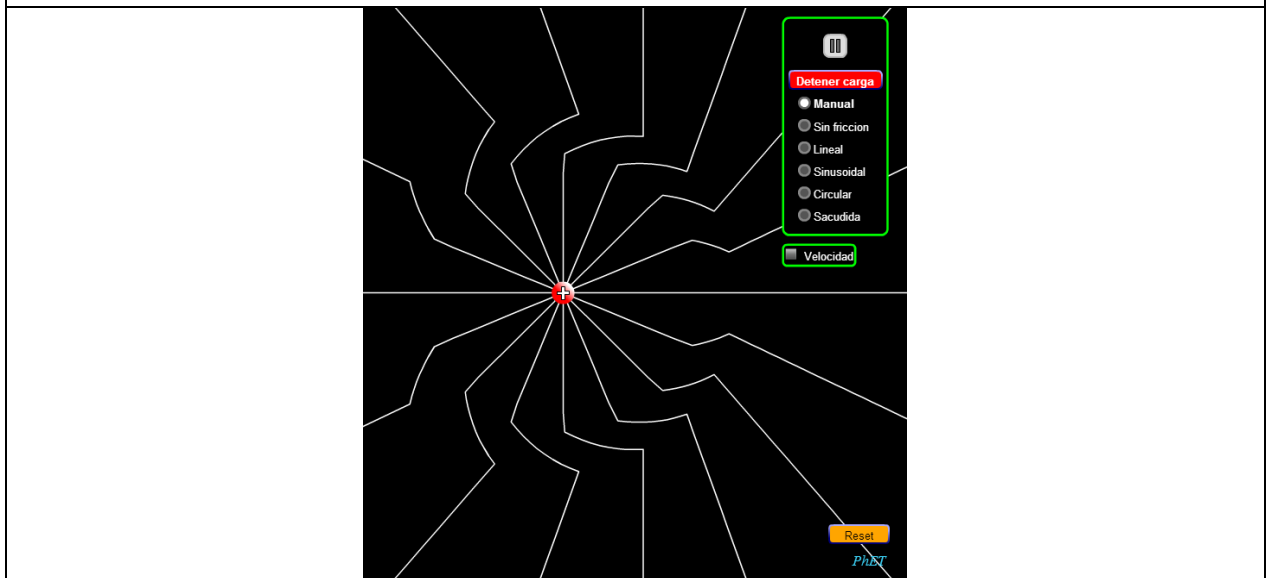


6. Seguido de las especificaciones el docente guía y de 10 minutos de libre manipulación se procede a hacer los siguientes ejercicios:

1. Nombra y enumera las diferencias que encuentres en las dos simulaciones, para ello ten en cuenta los alcances de cada una.

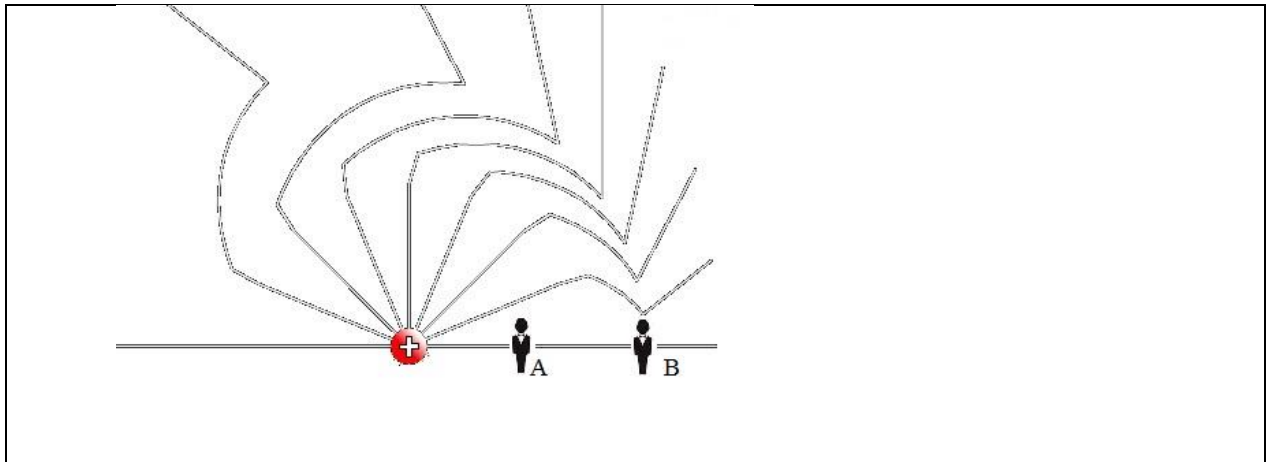


2. Ubica tu simulación de tal manera que observes la siguiente imagen, utiliza tu percepción y conocimiento de la simulación.

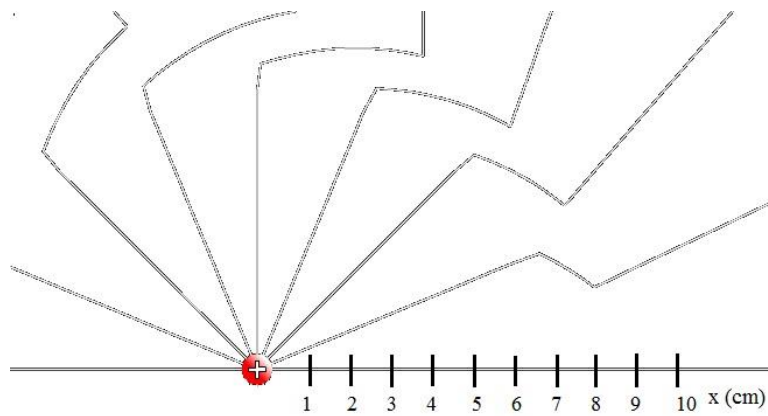


- a) Representa una onda electromagnética.
- b) Es un tipo de radiación.

3. En la siguiente figura tenemos dos observadores A y B, la carga estaba en movimiento pero se detuvo bruscamente, describa la situación para dos observadores. ¿Este evento fue simultáneo para los observadores?

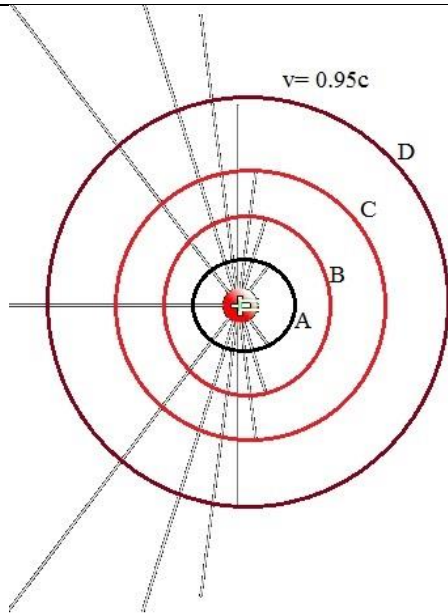


4. En la siguiente figura se presenta una partícula que tiene una celeridad de $0.50c$ y en un tiempo t se detiene



a) Realice una descripción detallada de lo observado en la figura.

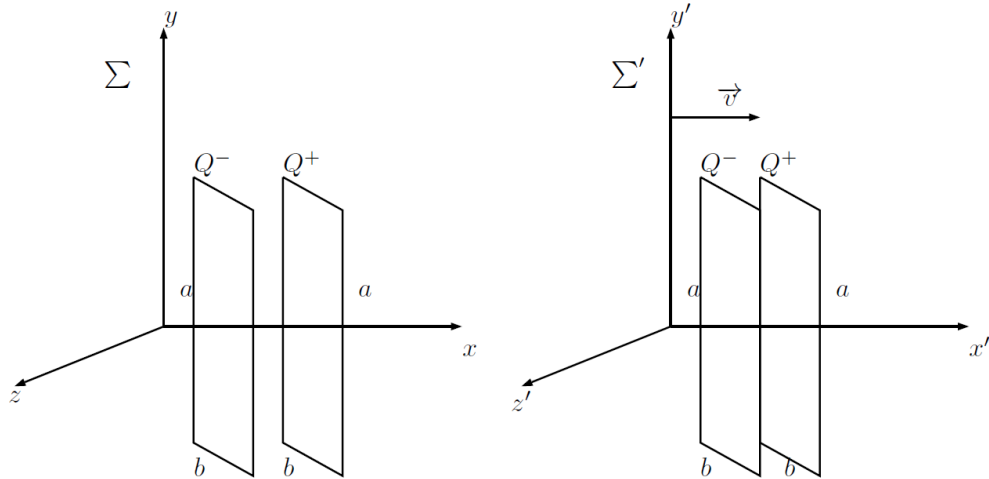
5. Mientras mayor sea el flujo de líneas de campo mayor será la intensidad del campo eléctrico. En la siguiente figura describa como es el campo eléctrico en cada superficie.



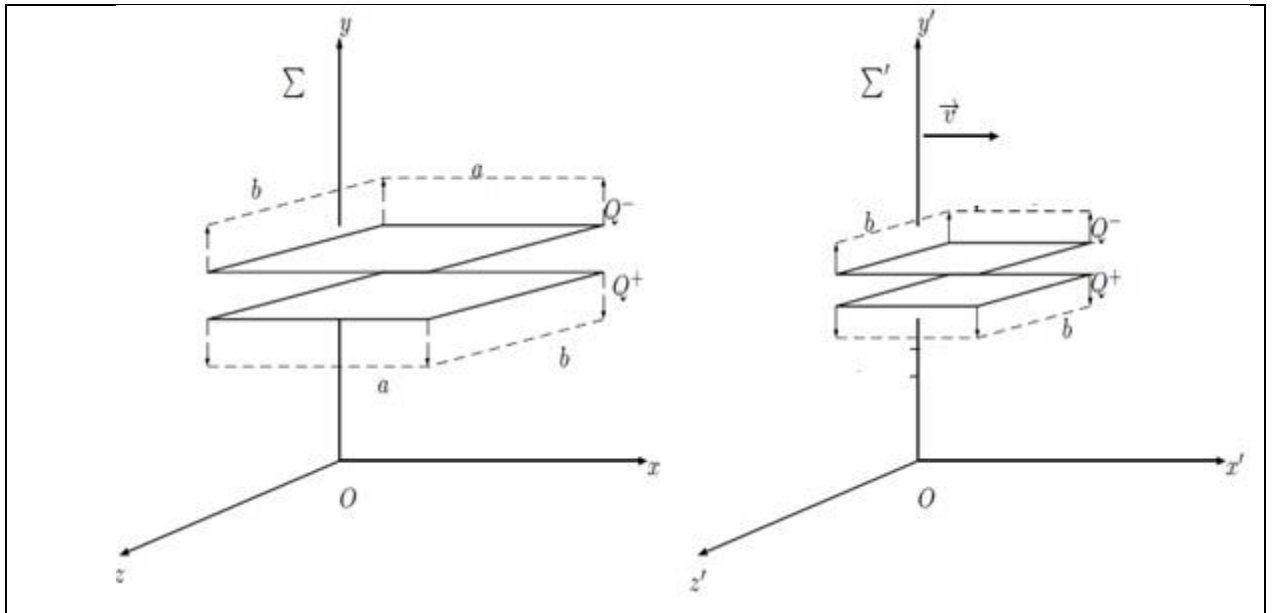
6. Encuentre el campo eléctrico de una partícula que se mueve a una velocidad de $0.95c$, una carga $q = 2.5 \mu\text{C}$ en las siguientes coordenadas: $x = 15 \text{ cm}$; $y = 20 \text{ cm}$

7. Determine el campo eléctrico de dos placas perpendiculares al eje de las x y x' que tiene las siguientes dimensiones: $a = 35 \text{ cm}$ y $b = 10 \text{ cm}$, si el campo eléctrico en $\Sigma' = 2,5 \mu\text{N/C}$ y $v = 0.80 c$

a) Encuentre el área de la placa en el sistema Σ y Σ'



8. Determine el campo eléctrico de dos placas paralelas al eje de las x y x' que tiene las siguientes dimensiones: $a = 35 \text{ cm}$ y $b = 10 \text{ cm}$, si el campo eléctrico en $\Sigma' = 2,5 \mu\text{N/C}$ y $v = 0.80 c$



9. Con la simulación ubíquese en la parte donde dice “Linear” y con esta modifique la velocidad de la partícula cargada.

a) Describa que es lo que observa

10. Investigue en que consiste los rayos x y a partir de la simulación explique este tipo de radiación

6. Conclusiones

En el presente trabajo se hizo un análisis del campo eléctrico para cargas móviles situado desde la relatividad restringida y su propagación de las líneas de campo, con la investigación detallada de dos simulaciones ambas de software libre.

Para el uso de herramientas computacionales en la enseñanza de la física se debe tener en cuenta un buen material de apoyo que acompañe a la simulación guiando a los sujetos que manipularán el programa y así aprovechando los beneficios en la utilización de estos instrumentos. La construcción del material guía, que en este trabajo se llamó estrategia de Enseñanza, se conformó gracias a la investigación de la teoría física y matemática que está de fondo en las simulaciones utilizadas. Gracias a esta conceptualización se diseñaron una serie de actividades las cuales incluyen una guía para el docente y ejercicios para los estudiantes que trabajarán sobre las simulaciones. La estrategia diseñada como producto de la investigación se realizó para mostrar como ejemplo o insumo a futuros docentes, una de las maneras en llevar una simulación computarizada al aula, resaltando la importancia del desarrollo matemático y físico necesario para la comprensión de la temática a trabajar.

La simulación de la carga en movimiento (`radiating-charge_es.jar`) nos permite dar una aceptada interpretación de un campo eléctrico que varía en el tiempo y la propagación de las líneas de campo; estas no se producen instantáneamente sino que les lleva un tiempo t propagarse en el espacio que está de acuerdo con la relatividad restringida ya que clásicamente estas líneas de fuerza actuarían instantáneamente.

Las ventajas que proporciona el primer programa es que permite visualizar las líneas de campo electrostático con diferentes tipos y números de cargas, otra ventaja que tiene el programa es que es de código abierto para modificarlo y agregar más conceptos de física como el potencial eléctrico.

El segundo programa solo se puede hacer un análisis cualitativo ya que no se encuentra el código de este pero representa de buena manera la propagación de las líneas de campo de una partícula cargada. La simulación (`radiating-charge_es.jar`) puede servir para estudiar a futuro la representación de una onda electromagnética y abordar temas de radiación electromagnética resaltando la importancia de un análisis físico y matemático para ser abordadas en el aula de clase.

7. Apéndice

A. Teoría de la relatividad especial

Para el estudio de los campos de cargas móviles es necesario comenzar un análisis de la relatividad restringida creada por Einstein en el año 1905 en su artículo “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento” en el cual en este da definiciones importantes sobre simultaneidad y causalidad y los dos postulados de la relatividad restringida que se muestran a continuación:

Principio de Relatividad: Si dos sistemas de coordenadas están en movimiento relativo de translación, paralela uniforme, las leyes de acuerdo con las cuales cambian los estados de un sistema físico no dependen de con cuál de los dos sistemas están relacionados dichos cambios.

Principio de constancia de la velocidad de la luz: Todo rayo luminoso se mueve en el sistema de coordenadas <<de reposo>> con una velocidad fija c , independientemente de si este rayo luminoso es emitido por un cuerpo en reposo o en movimiento. (Hawking, 2008, 16)

El primer postulado nos dice que las leyes de la física deben ser invariantes bajo una transformación de coordenadas, supongamos que tenemos un sistema de coordenadas Σ y Σ' como se muestra en la **Figura 1**:

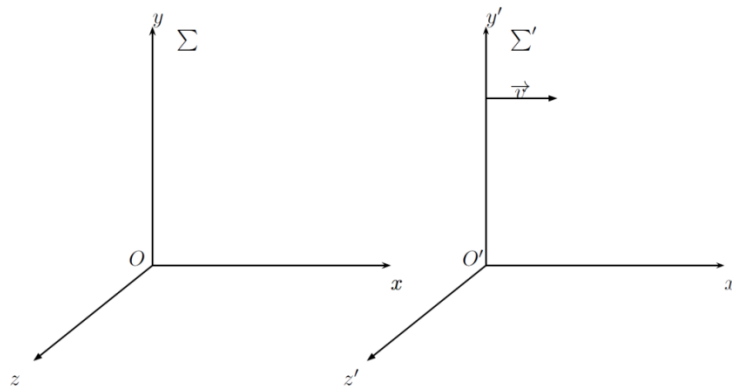


Figura 1: Dos sistemas de referencia

Σ tienen un sistema de coordenada (O,x,y,z) y Σ' (O',x',y',z') , Σ' tiene una velocidad v con respecto a Σ para establecer una relación que cumpla con el principio de la relatividad se necesita un grupo de transformaciones llamadas transformaciones Lorentz que se muestran en la **Tabla 1**

Tabla1: Transformaciones de Lorentz

Σ' a Σ	Σ a Σ'
$x' = \gamma(x - vt)$	$x = \gamma(x' + vt')$
$y' = y$	$y = y'$
$z' = z$	$z = z'$
$t' = \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right)$	$t = \gamma\left(t' + \frac{vx'}{c^2}\right)$

Donde γ es el factor de Lorentz

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1)$$

1.1 Transformación de las velocidades

Consideremos dos sistemas de referencia como se muestra en la **Figura 1**, si quiere encontrar el grupo de transformación de velocidades que nos permita establecer la velocidad de un evento en dos marcos de referencia.

Para esto tomamos las transformaciones de la **tabla 1** y derivamos la expresión

Tabla 2: Derivada de la transformación de coordenadas

Σ' a Σ
$dx' = \gamma(dx - vdt)$
$dy' = dy$
$dz' = dz$
$dt' = \gamma\left(dt - \frac{vdx}{c^2}\right)$

La velocidad es $\frac{d\vec{u}'}{dt'}$ para la componente x

$$u'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{\gamma(dx - vdt)}{\gamma\left(dt - \frac{vdx}{c^2}\right)} = \frac{u_x - v}{1 - (u_x v / c^2)} \quad (2)$$

Lo mismo se hace para las componentes y y z , y encontramos el grupo de transformación en la siguiente tabla:

Tabla 3: Transformaciones de Lorentz de la Velocidad

Σ' a Σ	Σ a Σ'
$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - (u_x v / c^2)}$	$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + (u'_x v / c^2)}$
$u'_y = \frac{u_y}{\gamma [1 - (u_x v / c^2)]}$	$u_y = \frac{u'_y}{\gamma [1 + (u'_x v / c^2)]}$
$u'_z = \frac{u_z}{\gamma [1 - (u_x v / c^2)]}$	$u_z = \frac{u'_z}{\gamma [1 + (u'_x v / c^2)]}$

1.2 Contracción de la longitud y dilatación del tiempo:

El tiempo para dos observadores transcurre de manera diferente a velocidades cercanas a la luz, supongamos un evento que sucede en un tiempo t , esto quiere decir que un sistema de referencia un observador mide un tiempo propio t , y el tiempo que mide un observador en otro sistema de referencia con velocidad \vec{v} es un tiempo impropio t' :

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3)$$

La longitud o más preciso el espacio tiene una contracción para dos sistemas de referencia, L es la longitud propia la que mide un observador en su sistema de referencia y L' es la longitud impropia:

$$L' = L \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (4)$$

1.3 Fuerza Relativista:

La fuerza es la derivada de la cantidad de movimiento, pero en la mecánica relativista la cantidad de movimiento lineal es diferente puesto que este depende de la masa y la masa no es un invariante a medida que se mueve va adquiriendo una nueva masa m y m_0 es la masa en reposo:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5)$$

Y la cantidad de movimiento y la energía son:

$$\vec{P} = \gamma m_0 \vec{u}; \quad E = \gamma m_0 c^2 \quad (6)$$

La fuerza sobre una partícula es:

$$F = \frac{d\vec{P}}{dt} = \frac{d(\gamma m_0 \vec{u})}{dt} \quad (7)$$

Haciendo un procedimiento matemático llegamos a la transformación de la fuerza que se muestra a continuación:

Tabla 4: Transformaciones de Lorentz de la fuerza.

Σ' a Σ	Σ a Σ'
$F'_x = \frac{F_x - (v/c^2)(F \cdot u)}{1 - \frac{vu_x}{c^2}}$	$F_x = \frac{F'_x + (v/c^2)(F' \cdot u')}{1 + \frac{vu_x}{c^2}}$

$$F'_y = \frac{(F_y/\gamma)}{1 - \frac{vu_x}{c^2}}$$

$$F'_z = \frac{(F_z/\gamma)}{1 - \frac{vu_x}{c^2}}$$

$$F_y = \frac{(F'_y/\gamma)}{1 + \frac{vu_x}{c^2}}$$

$$F_z = \frac{(F'_z/\gamma)}{1 + \frac{vu_x}{c^2}}$$

French, A. P. (2002). *Relatividad Especial. MIT Physics Course*. Barcelona:

Reverté

B. Transformación del campo \vec{E}

B.1 Transformación del campo Eléctrico

Tenemos dos sistemas de referencia Σ y Σ' como se muestran en la **Figura 2**. Una carga Q se desplaza con en el sistema de referencia Σ' tal que su velocidad $\vec{u} = \vec{v}$.

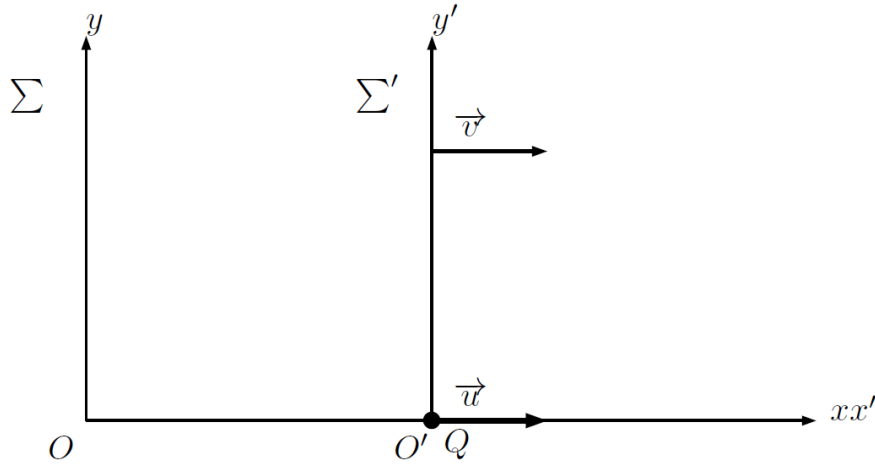


Figura 2: Una carga Q que se mueve con velocidad \vec{u} en las coordenadas O', y', x' (Guerra Mario, 1985, 218)

En el sistema Σ' la fuerza que un observador mida de la carga Q es $\vec{F}' = Q [\vec{E}']$, debido a que el observador se desplaza con la carga, pero un observador situado en Σ la fuerza que mide será la ecuación **8** que se presentó en el capítulo 2:

$$\vec{F} = Q[\vec{E} + (\vec{u} \times \vec{B})] \quad (8)$$

Este observador sí detecta un campo magnético, sabemos que $\vec{u} = v\hat{i}$ y separando las componentes del campo eléctrico y magnético son:

$$\vec{E} = E_x\hat{i} + E_y\hat{j} + E_z\hat{k} \quad (9)$$

$$\vec{B} = B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k} \quad (10)$$

Desarrollando $[(\vec{u} \times \vec{B})]$

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ v & 0 & 0 \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} &= -|vB_z - 0|\hat{j} + |vB_y - 0|\hat{k} \\ &= -(vB_z)\hat{j} + (vB_y)\hat{k} \end{aligned} \quad (11)$$

Tenemos que la fuerza es la ecuación (8) y resolviéndola obtenemos:

$$\vec{F} = Q \cdot [E_x \hat{i} + E_y \hat{j} + E_z \hat{k} + (-vB_z) \hat{j} + (vB_y) \hat{k}]$$

$$\vec{F} = (QE_x) \hat{i} + Q(E_y - vB_z) \hat{j} + Q(E_z + vB_y) \hat{k} \quad (12)$$

Y separándola en cada una de sus componentes:

$$F_x = QE_x; \quad F_y = Q(E_y - vB_z); \quad F_z = Q(E_z + vB_y) \quad (13)$$

Para que se cumpla el principio de relatividad usamos el grupo de transformaciones de la fuerza que se encuentra en la **Tabla 4 del apéndice A**, de tal forma que nuestra medida se haga en el momento en que los dos sistemas de referencia sean simultáneos y nuestro grupo de transformación es el siguiente:

Tabla 5: Fuerza cuando $u'_x = 0$

Σ a Σ'
$F_x = F'_x$
$F_y = \frac{F'_y}{\gamma}$
$F_z = \frac{F'_z}{\gamma}$

Con las **ecuaciones (13)** y la **Tabla 5**, tendremos que para la componente x :

$$F_x = QE_x$$

Aplicando la transformación

$$F_x = F'_x$$

$$Q\vec{E}_x = F'_x$$

$$Q\vec{E}_x = QE'_x$$

Dividendo por Q:

$$E_x = E'_x \quad (14)$$

Componente **y**:

$$F_y = Q(\vec{E}_y - v\vec{B}_z)$$

$$F_y = \frac{F'_y}{\gamma}$$

$$Q(\vec{E}_y - vB_z) = \frac{F'_y}{\gamma}$$

$$\gamma(\vec{E}_y - vB_z) = \frac{F'_y}{Q}$$

$$\gamma(E_y - vB_z) = E'_y \quad (15)$$

Componente z:

$$F_z = Q(E_z + (-vB_y))$$

$$F_z = \frac{F'_z}{\gamma}$$

$$Q(E_z + vB_y) = \frac{F'_z}{\gamma}$$

$$\gamma(E_z + vB_y) = \frac{F'_z}{Q}$$

$$\gamma(E_z + vB_y) = E'_z \quad (16)$$

Tenemos por lo tanto:

$$E'_x = E_x \quad E'_y = \gamma(E_y - vB'_z) \quad E'_z = \gamma(E_z - vB'_y) \quad (17)$$

Las ecuaciones **14**, **15** y **16** demuestran que el campo eléctrico de una partícula va acompañado de un campo magnético asociado a la velocidad de la carga.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, J., & García, G. (2010). Aprendizaje significativo a partir de prácticas de. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 149-152.
- Alzugaray, G., Massa, M., & Moreira, M. (2014). La potencialidad de las simulaciones de campo eléctrico desde la perspectiva de la teoría de los campos conceptuales de vergnaud. *Latin-American Journal of Physics Education*, 8(1), 91-99.
- Barrera, M. X., & León Agustí, P. (s.f.). ¿De qué manera se diferencia el marco de la Enseñanza para la Comprensión de un enfoque tradicional? *Ruta maestra*, 9, 26-32.
- Berkson, W. (1981). *Las teorías de los campos de fuerza desde Faraday hasta Einstein*. Madrid: Alianza.
- Bonnin, A., Fariñas, B., Rodríguez, A., & Llovera, J. (2013). Simulaciones virtuales como complemento de las clases y los laboratorios de Física. Ejemplos en la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica. *Latin-American Journal of Physics Education*, 7(4), 669-673.
- Consorci de Serveis Universitaris de Catalunya Y Biblioteca de Catalunya. (s.f.). *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*. Obtenido de Revistes Catalanes amb Accés Obert: <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza>
- Esquembre, F. (2005). *Creación de simulaciones interactivas en Java: aplicación a la enseñanza de la física*. Madrid: Pearson Educación, Prentice Hall.
- Esquembre, F. (11 de Diciembre de 2011). *Easy Java Simulations Wiki / Es / Home Page*. Obtenido de Universidad de Murcia. Pagina Web Personal: Prof. Francisco Esquembre : <http://www.um.es/fem/EjsWiki/Es/HomePage>
- Feynman, R. P. (1972). *The Feynman lectures on physics = Física* (Vol. II). Caracas: Fondo Educativo Interamericano.
- Fonseca, M., Hurtado, A., Lombana, C., & Ocaña, O. (2002). Una partícula cargada eléctricamente, se libera en reposo, en un campo electrostático generado por otras cargas: ¿cuál es la trayectoria? ¿existen las líneas de campo? *REvista colombiana de física (Bogotá)*, 284-288.
- Fonseca, M., Hurtado, A., Lombana, C., & Ocaña, O. (2006). La simulación y el experimento como opciones didácticas integradas para la conceptualización en física. *Revista colombiana de física (Bogotá)*, 707-710.
- French, A. P. (2002). *Relatividad Especial. MIT Physics Course*. Barcelona: Reverté.
- García Casas, M., & Andreu, M. d. (2013). *Otros recursos para la enseñanza de las Ciencias Naturales*. Obtenido de Universitat Politècnica de València: <http://www.upv.es/jugaryaprender/cienciasnaturales/simumendel.htm>
- Guerra, M., Juan, C., Nuñez, I., & Scaron, J. (1985). *Física: Elementos Fundamentales* (Vol. II). Barcelona: Reverte, S.A.

- Hawking, S. (2008). *La gran ilusión. Las grandes obras de Albert Einstein*. Barcelona: Crítica.
- Hodson, D. (1994). Investigación y experiencias didácticas: Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las ciencias*, 299-313.
- IZQUIERDO, M., SANMARTI, N., & SPINET, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares en ciencias experimentales. *Enseñanza de las ciencias* 17.
- Jackson, J. D. (1925). *Electrodinámica clásica, versión española de G. Marsal Alexandre y J. L. Lloret Sebastián*. Madrid: Alhambra.
- LUNETTA, V., Avi, H., & CLOUGH, M. (2007). Aprender y enseñar en el laboratorio de ciencias en la escuela: un análisis de la investigación, la teoría y la práctica. S.K. Abell y N.G. Lederman (Eds.), *Manual de investigación sobre la enseñanza de las ciencias*.
- Marulanda, J. I., & Gómez, L. A. (2006). EXPERIMENTOS EN EL AULA DE CLASE PARA LA ENSEÑANZA. *REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA*, 699-702.
- Morales Suarez, M. Á. (2008). *Una caracterización del concepto de potencial vectorial en la teoría electromagnética de campos*. Asesor: Isabel Garzón Barragán . Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, Trabajo de grado del programa licenciatura en física.
- ORACLE Corporation. (s.f.). *¿Qué es la tecnología Java y para qué la necesito? .* Obtenido de Java: https://www.java.com/es/download/faq/whatis_java.xml
- Peña Carabali, E. (2012). *USO DE ACTIVIDADES EXPERIMENTALES PARA RECREAR CONOCIMIENTO CIENTÍFICO ESCOLAR EN EL AULA DE CLASE, EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MAYOR DE YUMBO*. Palmira: Tesis Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Purcell, E. M. (2001). *Electricidad y magnetismo. Berkeley Physics Course* (Segunda ed., Vol. II). Barcelona: Reverté.
- Rojas, A. A., Oviedo, J. P., & Lopez, S. Y. (2011). Los Applets En Física Y Su Impacto En El Desarrollo Del Pensamiento. *Revista Colombiana de Física*, 43(1), 24-27.
- Santos, G., Otero, M., & Fanaro, M. (Abril de 2000). ¿Como usar Software de simulacion en clases de fisica? *Facultad de diencias Exactas. Universidad Nacional del Centro.*, 17(1), 50-66.
- Serway, R., & Jewett, J. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna* (Séptima ed., Vol. II). Cengage Learning.
- Universidad Pedagógica Nacional; Red Latinoamericana de Información y Documentación en Educación. (s.f.). *Archivo Pedagógico de Colombia*. Obtenido de <http://archivo.pedagogica.edu.co/index.php/investigacion-en-educacion/investigacion-en-pregrados-posgrados/trabajos-de-grado>

Urrego Albarracín, L. A. (2009). *Sobre la relación entre la mecánica de los medios continuos y la acción entre cuerpos electrificados: Un análisis para la enseñanza del electromagnetismo*. Asesor: Juan Carlos Castillo Ayala. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, Trabajo de grado del programa licenciatura en física.

Velasco, A., Arellano, J., Martínez, J., & Velasco, S. (2010). Laboratorios virtuales: alternativa en la educación. *Ciencia y didáctica*.

WP+Thematic, L. . (2009). *Historia y eficacia de la simulación*. Obtenido de Laboratorio de simuladores en administración y gerencia: <http://www.gerentevirtual.com/es/index.php/simuladores-de-negocios/historia-y-eficacia-de-la-simulacion/>

