

# PROPUESTA DIDÁCTICA BASADA EN EL MOVIMIENTO DE LAS PIEZAS DE AJEDREZ PARA LA COMPRENSIÓN DEL CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO

Carlos Alberto Suárez Ríos

2014146064



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA  
NACIONAL**

*Educadora de educadores*

**Departamento de Física**

**Línea de Investigación: La enseñanza de la física y la relación física-matemática**



**Bogotá D.C.**

**2020**

**PROPUESTA DIDÁCTICA BASADA EN EL MOVIMIENTO DE LAS PIEZAS DE  
AJEDREZ PARA LA COMPRENSIÓN DEL CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO**

**Carlos Alberto Suárez Ríos**

**Trabajo de grado para optar por el título de Licenciado en Física**

**Director del Trabajo:**

**Mg. Mauricio Rozo Clavijo**



**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA  
NACIONAL**

*Educadora de educadores*

**Departamento de Física**

**Línea de Investigación: La enseñanza de la física y la relación física-matemática**



**Bogotá D.C.**

**2020**

*A mi madre, abuelos y hermanos por el apoyo durante estos años de formación, a mis profesores, compañeros y amigos de la universidad por las experiencias y aportes a mi desarrollo personal, profesional, político y laboral.*

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÒN .....	1
--------------------	---

### CAPÍTULO

#### I CONTEXTO PROBLEMÁTICO

1.1. Planteamiento de la Problemática .....	3
1.2. Pregunta Generadora .....	7
1.3. Objetivo General .....	7
1.4. Objetivos Específicos .....	7
1.5. Justificación de la Investigación.....	7

#### II CONTEXTO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes Investigativos.....	9
2.2. Recorrido Histórico desde el Éter hasta el Concepto de Campo.....	11
2.3. Electricidad.....	24
2.4. Ondas Electromagnéticas.....	25
2.5. Ecuaciones de Maxwell.....	28
2.6. Teoría de las Ondas Electromagnéticas.....	31
2.7. Perspectiva Pedagógica de Enseñanza y Aprendizaje a través de Estrategias Lúdicas. ....	32
2.8. El Juego como Forma de Aprendizaje.....	34
2.9. El Ajedrez como Arte y Deporte.....	35
2.10. La Practica del Ajedrez.....	37
2.11. Lecciones de Ajedrez elemental por Vacili Panov .....	39

#### III CONTEXTO METODOLÒGICO

3.1. Paradigma de la Investigación .....	44
3.2. Tipo y Diseño de la Investigación.....	44

3.3. Técnica de Recolección de Datos .....	46
3.4. Técnicas de Análisis de Datos .....	46
3.5. Confirmabilidad de la Investigación .....	47

## **VI CONTEXTO ANALÍTICO**

4.1. Procesamiento Heurístico de la Información .....	48
---	----

## **V CONTEXTO DIDÁCTICO**

5.1. La Propuesta Didáctica basada en el Movimiento de las Fichas de Ajedrez.....	54
5.2. Caracterización.....	54
5.3. Campo de Acción de las Piezas de Ajedrez.....	58
5.4. Incorporación.....	60

<b>CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>65</b>
--	-----------

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>67</b>
--	-----------

## LISTA DE FIGURAS

1. Fenómeno de Reflexión y Refracción de la luz.....	13
2. Fenómeno de Difracción. Experimento de Young.....	14
3. Principio de Huygens.....	15
4. La Aberración Estelar de Bradley.....	16
5. Tablero de Ajedrez Tradicional.....	54
6. Ficha de Ajedrez: Peón.....	55
7. Ficha de Ajedrez: Alfil.....	56
8. Ficha de Ajedrez: Torre.....	56
9. Ficha de ajedrez: Caballo.....	57
10. Ficha de ajedrez: Reina.....	57
11. Ficha de ajedrez: Rey.....	57
12. Campo de Acción de la Torre en el Tablero (A).....	58
13. Campo de Acción de la Torre en el Tablero (B).....	58
14. Campo de Acción del Alfil Blanco.....	59
15. Campo de Acción del Alfil Negro.....	59
16. Desplazamiento Superpuesto de Ambos Alfines.....	60
17. Campo de Acción de la Reina y Campo Eléctrico de una Carga.....	61
18. Reina y Alfil en posición de Captura.....	62
19. Campos de Acción de Dos Fichas y el Campo Eléctrico (A).....	62
20. Campos de Acción de Dos Fichas y el Campo Eléctrico (B).....	63
21. Campo de Acción de una Reina sobre un Alfil.....	63
22. Fichas del mismo Bando y Dos Cargas de Misma polaridad.....	63
23. Incorporación del Modelo Electrostático al Cuadro de Ajedrez.....	64

## INTRODUCCIÓN

La finalidad de la presente investigación consiste en generar una propuesta didáctica basada en el movimiento de las fichas de ajedrez para la comprensión del concepto de campo eléctrico a partir de las ecuaciones sistematizadas de Maxwell en estudiantes de bachillerato. En tal sentido, Ayala (2004) sostiene que los profesores de ciencias naturales (matemática, física, química y biología) han de vincularse a un proceso de realimentación y actualización creativo de saberes, que exige de ellos la elaboración de criterios de selección de un campo problemático, la toma de posición acerca de los fenómenos que intenta organizar, así como la valoración de los aportes que al respecto han hecho otros autores.

Por su parte, Ben-Dov, (1999) menciona que: “Para una mejor comprensión de la física actual, y quizás de la del futuro, necesitamos abordar sus teorías desde una perspectiva histórica.” (p. 35). En otras palabras, la comprensión del conocimiento científico se relaciona con la atención que se da al desarrollo histórico de la física y su cuerpo conceptual, desde Sir Isaac Newton, con su teoría corpuscular sobre el comportamiento de la luz, Christian Huygens, quien planteó la teoría ondulatoria, Michael Faraday y Hertz entre otros, quienes permiten evidenciar desde los diferentes puntos de vista la construcción del concepto prístino del éter hasta llegar a los conceptos fundamentales de campo eléctrico, campo magnético, electromagnetismo, líneas de fuerza y la teoría de las ondas electromagnéticas propuesto por Maxwell, entre otros conceptos clave.

En este sentido, Ramos (2016), destaca que es necesario indagar acerca de la comprensión del concepto de campo eléctrico, ya que los estudiantes han presentado dificultades para internalizar su contenido abstracto. Sin embargo, es importante resaltar que no es posible generalizar a los estudiantes, pues se hace notorio que en la actualidad diferentes líneas de investigación remiten a buscar metodologías o estrategias que coadyuven al docente a enseñar de una manera efectiva, práctica y sobre todo creativa a sus estudiantes. Desde esta perspectiva, el docente en formación tendrá en lo lúdico del Ajedrez una posibilidad didáctica de mayor alcance y profundidad en la enseñanza de conceptos básicos de la física como ciencia formal, con mayor énfasis en la teoría del campo aplicado al electromagnetismo, lo que permitiría explicar estos conceptos de manera reflexiva, participativa y no condicionada.

Cabría preguntarse, ¿por qué escoger el ajedrez como propuesta lúdico-didáctica para la enseñanza del concepto de campo eléctrico en física?, desde una retrospectiva histórica y experiencial, ya en los años 90 del siglo XX el ajedrez se incrementó y consolidó en las escuelas primarias y secundarias, ya sea empleándolo como actividad extracurricular o incluyéndolo en los programas escolares como una asignatura lúdica. En su argumentación Fernández Amigo (2008) sostiene que el Ajedrez es un continuo entre asimilación y acomodación, donde demanda aprender a resolver problemas típicos (asimilación) y también captar y comprender patrones de relaciones existentes entre las piezas para saber aplicarlos (acomodación).

Por lo tanto, el estudiante que trabaja con el Ajedrez en el aula de clase desarrolla un potencial cognitivo y sensible que puede ser canalizado hacia cualquier área de conocimiento en el contexto educativo. La UNESCO, reconoció que el Ajedrez posee un amplio abanico de virtudes pedagógicas en cuanto al desarrollo de la personalidad; le sustenta a este reconocimiento, el dominio de la lógica-matemática, al igual que la creatividad, la intuición y la imaginación, funciones que son reguladas por el hemisferio derecho e izquierdo del cerebro humano. De lo antes aludido, el presente trabajo de grado se estructuró de la siguiente manera:

En el capítulo I titulado: Contexto Problemático, se presenta: el planteamiento de la problemática, la pregunta generadora, el objetivo general y los específicos y la justificación de la investigación. En el Capítulo II, denominado: Contexto Teórico-Referencial, se exponen los antecedentes investigativos, la electricidad, las ondas electromagnéticas, las ecuaciones de Maxwell, la teoría de las ondas electromagnéticas, la perspectiva pedagógica de enseñanza y aprendizaje a través de estrategias lúdicas, el ajedrez como arte y deporte, la práctica del ajedrez y las lecciones de ajedrez elemental por Vacili Panov. En el Capítulo III, descrito como: Contexto Metodológico, aparece el Paradigma, tipo y diseño de investigación, la técnica de recolección y análisis de datos cualitativos y la fiabilidad de la investigación.

En el capítulo IV, referido al contexto analítico, se vislumbra el procesamiento heurístico de la información. En el capítulo V concerniente al contexto didáctico, se dilucida la propuesta didáctica basada en el movimiento de las fichas de Ajedrez para comprender el campo eléctrico, la caracterización, el campo de acción de las piezas de Ajedrez y la incorporación. Finalmente se presentan las conclusiones de la investigación y las respectivas referencias bibliográficas.



## CAPÍTULO I

### CONTEXTO PROBLEMÁTICO

#### 1.1. Planteamiento de la Problemática

Para los conceptos de campo eléctrico y campo magnético algunos docentes hacen hincapié en el uso del lenguaje matemático para evidenciar su existencia, otros docentes más versados en el tema se apoyan en distintas estrategias didácticas que le permiten al estudiante observar los efectos de dichos campos sobre un cuerpo en particular; sin embargo, para el común de los estudiantes continúa siendo difícil relacionar los formalismos matemáticos con los fenómenos observados físicamente. Emergen en el contexto educativo dos factores u obstáculos epistemológicos que limitan el aprendizaje de los estudiantes con respecto a la conceptualización sobre el campo en física; 1. Dificultad en la aprehensión y en el desarrollo cronológico de los contenidos históricos del concepto y 2. El ritmo de aprendizaje de cada estudiante, incluso a nivel universitario en el área de la ingeniería eléctrica no poseen una comprensión básica de los conceptos de campo eléctrico, potencial eléctrico y energía, puesto que no se dan explicaciones eficientes, y esta falla viene arrastrándola el estudiantado desde la educación media y básica. (Furio y Guisasola, 1993; Velasco y Salinas, 2001).

En este orden de ideas, la construcción del concepto de campo por parte del estudiante está vinculada al dominio cognitivo que debe tener el docente de ciencias naturales, y la problemática central está en la falta de comprensión por parte del estudiante en los aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales del conocimiento científico (Gil, 1985; Gil y Carrascosa, 1993; Furio 2001). Es por ello, que el docente en su formación académica debe desarrollar tres componentes fundamentales: 1. El didáctico; 2. El disciplinar (saber científico) y 3. El pedagógico (saber cómo enseñar). (Lorenzo, 2012).

En cuanto al componente disciplinar, éste es indispensable, ya que permite tener un conocimiento amplio sobre el concepto de campo eléctrico, y a su vez le proporciona estrategias para su enseñanza; en este caso, es necesario que el docente que enseña el concepto de campo a los estudiantes tenga conocimiento pleno de su surgimiento en el devenir histórico y sus diversos cambios, cómo funciona, cuál es su aplicación, formulación matemática y sea capaz de compararlo

con otras perspectivas como la acción a distancia. De esta manera, el componente disciplinar queda reforzado por los estudios históricos y epistemológicos, que le permitan al maestro tener una mayor comprensión de las dinámicas de su disciplina y de esta forma la pueda transferir a sus estudiantes.

Es por ello que, para proponer estrategias o planes didácticos para la enseñanza del concepto de campo, primeramente, el docente debe conocer los obstáculos epistemológicos que le impiden al estudiante tener una comprensión teórica del mismo. En tal sentido, la Universidad Pedagógica Nacional (2015), destaca que la formación del docente en ciencias: *“Se destaca el papel de los estudios epistemológicos en cuanto proporcionan un contexto cultural más amplio al maestro de ciencias y posibilitan adentrarse en la comprensión de los procesos inherentes a la actividad científica.* (p. 44). Se hace necesario, en los docentes estudios epistemológicos, históricos y reflexivos para la construcción y empoderamiento del conocimiento, seguido de un desarrollo analítico que permita generar propuestas didácticas que faciliten la comprensión del concepto de campo, entre ellas el empleo del Ajedrez en el contexto áulico.

En lo concerniente, al concepto de campo se considera relevante ya que es empleado desde la física clásica hasta la moderna. En la física clásica el campo se utiliza para describir y explicar fenómenos electromagnéticos, gravitacionales; mientras que en la física moderna *“el campo representa de una manera unívoca todas las acciones determinadas por su fuente”* (Leopold, 1986), Para Feynman y Leighton, (1972), el campo es: *“toda cantidad física que toma un valor diferente en cada punto del espacio”*. Feynman (1985) también enuncia la importancia del campo en las teorías de partículas elementales que buscan la elaboración de modelos que expliquen y unifiquen las fuerzas básicas de la naturaleza.

Para la física moderna es importante el concepto de campo pues apoya a la descripción de lo real o de la realidad. (Einstein, 1995). En este sentido, el concepto de campo surge con la finalidad de dar explicación a algunos fenómenos electromagnéticos del siglo XVII, y desde ese entonces hasta el siglo XIX se han dado diferentes ideas sobre su significado, transformándose constantemente. Para Margenau, (1977), el término campo y las ideas que subyacen detrás de él están encontrando uso en áreas de investigación más amplias y disimiles a las fácticas, y esto ha distorsionado en cierta forma su significado real u original. La problemática comienza cuando la comprensión de este concepto no es aclarada, desde la misma educación básica.

Cabe resaltar, que dentro de las competencias instruccionales que tiene el Ministerio de Educación Nacional (MEN) se establece que los estudiantes de educación básica tengan un acercamiento a la construcción del concepto de campo, pues las temáticas a trabajar están relacionadas con electromagnetismo, y algunos objetivos propuestos hacen referencia específica al término campo eléctrico, magnético o gravitatorio, además mencionan conceptos relacionados como las fuerzas, la atracción de los imanes, entre otros. Por esta razón, dichas competencias instruccionales permiten tener mayor atención hacia el aprendizaje de conceptos básicos en física y sobre todo en el concepto de campo eléctrico, donde el objetivo central se basa en que los estudiantes verifiquen las fuerzas a distancia generadas por el imán, y aunque el imán atrae objetos, también comprendan que existe una relación entre esa atracción y la intensidad de la fuerza. Desde esta perspectiva didáctica propuesta por el (MEN) se fundamenta la construcción de las estructuras o mallas curriculares en las instituciones educativas, que dan cuenta de un proceso enseñanza-aprendizaje en el que se vincula la participación de los estudiantes y la asesoría de los docentes.

En relación con el Ajedrez, este puede concebirse como ciencia, pues implica un conjunto de conocimientos que constituye una rama del saber humano. En este caso, el concepto causa y efecto se aplica a los movimientos de las piezas del ajedrez y esta práctica coloca en ejercicio las habilidades cognitivas de razonamiento lógico, motoras y afectivas. El Ajedrez tiene su matiz científico porque implica la descomposición de los problemas en partes (método deductivo) y síntesis (inductivo), además de ello tiende hilos conductores y tensores de ideas y pensamientos razonados. De hecho, muchos pensadores como Pascal, Newton y Einstein practicaron el Ajedrez no solo como pasatiempo, sino como estrategia estimulante del pensamiento lógico-matemático e imaginario-creativo. Asimismo, la ciencia cibernética hace uso del Ajedrez para plantear programas y ordenadores cada vez más rápidos y potentes en sus operaciones lúdicas; de igual manera, el Ajedrez precisa de mentes analíticas en pro de buscar alternativas de éxito dentro un multivariable mundo de posibilidades y probabilidades existentes.

En el Ajedrez es común hablar de dos conceptos básicos, estos son la estrategia y la táctica. La primera es un sistema abierto a la resolución de problemas concretos y para ello se requiere de un pensamiento divergente y heurístico. El segundo concepto en cambio demanda más atención a los detalles, es un sistema cerrado y requiere de mayor concentración, de una alta capacidad de abstracción y visualización espacial y temporal.

El Ajedrez en el contexto educativo ha tenido buena receptividad en el estudiantado y más si pueden relacionar los movimientos de sus piezas con los conceptos fundamentales de la física como es el campo eléctrico, el campo magnético, las líneas de fuerza, las ondas electromagnéticas, principalmente desde las ecuaciones de Maxwell; pero, para llegar allí deben seguir el recorrido histórico del concepto y las aportaciones que han realizado otros físicos al fenómeno del electromagnetismo que se concibieron separados en un principio: magnetismo y electricidad, pues los trabajos previos de Faraday permitieron tener una panóptica consistente a posteriori del concepto de campo eléctrico.

Para la presente investigación, la propuesta didáctica para la comprensión del concepto de campo eléctrico mediante el movimiento de las fichas de ajedrez, evoca a emplear la analogía entre el concepto proveniente de la física (campo eléctrico) y la práctica lúdica del Ajedrez, donde las cargas eléctricas están representadas simbólicamente por las fichas de Ajedrez, en ese mismo sentido, si a cada ficha se le atribuye un movimiento especial que desempeña en su campo de acción, esto conlleva a atribuirle a una carga eléctrica puntual en el espacio, un campo de acción similar, es decir, una perturbación en el espacio que se presenta hacia todas las direcciones, tal y como se podría evidenciar en el desplazamiento de una ficha en el tablero de 64 puestos. En este sentido, la carga eléctrica presenta una intensidad de campo eléctrico dependiente de sí misma y no dependiente de otra carga, dicho esto, en el tablero del juego se puede apreciar que una ficha tiene la propiedad de desplazarse por donde quieran tanto como su movimiento especial se lo permita, es decir, el campo de acción depende de ella misma y este no depende de la ficha adversaria presente en el tablero.

Lo mencionado con anterioridad, permite dar cuenta de la pertinencia de una propuesta didáctica basada en los movimientos de las fichas de Ajedrez para la comprensión del concepto de campo eléctrico en física. Desde un posicionamiento histórico, el docente formado en ciencias naturales en los institutos pedagógicos, ha asumido que su labor es netamente explicativa y no genera conocimientos teóricos, ni estrategias didácticas creativas dentro de las aulas de clase, en otras palabras, la labor investigativa del docente queda en un segundo plano, sin entender que el mejor laboratorio para aplicar diferentes metodologías, estrategias y didácticas en la enseñanza de la física de manera lúdica es dentro del aula, cónsonas a los diversos ritmos de aprendizajes.

## **1.2. Pregunta Generadora**

¿Cómo a partir del movimiento de las fichas de ajedrez como propuesta didáctica se puede llegar a una comprensión cognitiva del concepto de campo eléctrico en los estudiantes de educación media y básica?

## **1.3. Objetivo General**

Generar una propuesta didáctica basada en el movimiento de las fichas de Ajedrez para la comprensión del concepto de campo eléctrico en los estudiantes de educación media y básica.

## **1.4. Objetivos Específicos**

- 1.4.1. Conocer la evolución histórica del Éter como idea matriz hasta llegar a la construcción del concepto de campo eléctrico mediante un arqueo heurístico sistemático.
- 1.4.2. Describir los aspectos teórico-prácticos del juego de Ajedrez desde lo artístico, deportivo y didáctico-pedagógico.
- 1.4.3. Diseñar una propuesta didáctica basada en el movimiento de las fichas de Ajedrez en pro de una comprensión cognitiva del concepto de campo eléctrico en los estudiantes de educación media y básica

## **1.5. Justificación de la Investigación**

Es importante que se establezcan algunos aspectos al momento de abordar el concepto de campo eléctrico, pues la acción a distancia es una forma de interacción entre partículas que nos indican nociones clásicas, a partir de esto, se hace necesaria la contextualización de los estudiantes a propósito del concepto de acción a distancia y su interacción instantánea, pues la manera de percibirlo los lleva por caminos limitados, mismos caminos que limitaron los modelos newtonianos que intentaron abordar la acción a distancia entre partículas de la misma manera en que abordaron la interacción entre cuerpos planetarios. En la actualidad esos mismos problemas clásicos del paradigma

de coulomb para explicar la interacción entre cuerpos microscópicos cargados, repercuten en la formación de los estudiantes de secundaria, pues pretenden justificar que el campo eléctrico surge únicamente a partir de la presencia de una carga frente a otra, lo que contraría totalmente la presencia de un campo eléctrico uniforme en una carga estática. Es por esto, que en la actualidad es necesario que al momento de abordar el campo eléctrico también se reconozcan los alcances y falencias del modelo newtoniano pues únicamente así, se desligaría esta concepción de la fuerza eléctrica como la forma de ver esa intensidad en el campo.

El beneficio disciplinario que trae abordar el campo eléctrico y la problemática de la acción a distancia por medio de esquemas prácticos y dinámicos, puede evidenciarse en la exigua capacidad de los estudiantes para explicar campos de fuerza como campos de acción, en donde no pueden comprender o dar cuenta de ello; es por eso, que al emplear estrategias didácticas basadas en lo lúdico como es el juego de Ajedrez, se convoca constantemente al ejercicio del pensamiento estratégico para que el estudiante desarrolle la participación, la creatividad y las habilidades psico-motoras frente a situaciones dinámicas imaginarias que se plantean al ejecutar movimientos de las fichas de ajedrez.

Es importante resaltar, que las estrategias lúdicas remiten a procedimientos más inclusivos, creativos y de mejores resultados pedagógicos para el docente de ciencias naturales, debido a que no todos los estudiantes aprenden de la misma forma y poseen diversos ritmos de aprendizaje. Asimismo, las analogías que se establecen entre el concepto de campo eléctrico y el movimiento de las fichas de Ajedrez le permiten al estudiante desarrollar un pensamiento lógico, secuencial y de razonamiento abstracto, al igual que un pensamiento lateral, estratégico, creativo advertido por la intuición al momento de participar.

Esta analogía relacional lúdico-teórica, además de desarrollar todos los procesos básicos del pensamiento, le proporciona mayor capacidad de respuesta, ingenio, toma de decisiones, comprensión y relación de contenidos teóricos y prácticos *in situ* (Es decir, en el sitio, y esto es el aula de clase), que han sido uno de los problemas fundamentales que se han presentado principalmente en la didáctica de la matemática y la física. En síntesis, el Ajedrez permite vehiculizar el conocimiento del concepto de campo eléctrico en física de una manera más cónsona a las necesidades contextuales del estudiante, los objetivos didácticos del docente y la arquitectura curricular.

## CAPITULO II

### CONTEXTO TEÒRICO REFERENCIAL

#### 2.1. Antecedentes de la Investigación

En la Universidad Pedagógica Nacional propiamente y demás universidades del territorio nacional, se han realizado algunas investigaciones que aportan y orientan con sus ideas a este trabajo investigativo que se propone en relación con la enseñanza de la física. Los siguientes trabajos aportaron a esta investigación con sus conclusiones y reflexiones, ideas y puntos de partida en el sentido analítico disciplinar, pedagógico, histórico y metodológico.

Por su parte, Roncancio Ortiz, Ortiz Carrera, Llano Ruiz, y Malpica López (2017). Realizaron un trabajo de grado titulado “El uso de los videojuegos como herramienta didáctica para mejorar la enseñanza- aprendizaje: Una revisión del estado del tema “. Universidad de la Amazonia. Florencia, Caquetá, Colombia. Esta investigación tuvo como objetivo replantear el juego como una herramienta valiosa en el campo de la educación. Y llegó a la conclusión que se puede abordar la estructura física del juego como un objeto generador de interés y motivación en los estudiantes, que puede ser aprovechado en el campo pedagógico como un conducto que estimula la comprensión de conceptos por medio de actividades preferiblemente prácticas.

Este trabajo de grado es relevante para la investigación, por que aborda el juego como herramienta didáctica de enseñanza y aprendizaje para la transmisión de cualquier conocimiento académico. Razón por la cual reafirma mi propuesta de utilizar el juego de ajedrez como medio pedagógico para explicar el concepto de campo eléctrico en física.

Siguiendo este orden de ideas tenemos a Ramos Lozano (2016). Con un trabajo de investigación titulado: Reflexiones sobre la importancia del concepto de campo en física (Trabajo de grado). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D. C., Colombia. EL objetivo de esta investigación consistió en la recontextualización del concepto de campo en física mediante la metodología de la monografía. Tuvo como resultado el aporte de ideas y nociones del concepto de campo en diferentes ramas de la física y no únicamente en el electromagnetismo.

Este antecedente permite evidenciar los hechos que ocasionaron la necesidad de introducir el concepto de campo en física y las implicaciones de su enseñanza, lo cual sirve de sustento teórico para mi trabajo de grado.

Otro antecedente importante, a considerar, para el constructo teórico de la presente investigación lo propone Quintero García y Torres García (2016), cuyo título es: Estrategia de enseñanza de las líneas de campo eléctrico de una partícula cargada en movimiento (Trabajo de grado). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D. C., Colombia. En este trabajo investigativo tuvo como propósito los análisis temáticos alrededor del concepto de campo eléctrico; lo cual llevo a la conclusión observar otras concepciones a cerca de como presentar este concepto de una manera más práctica. Al igual que el antecedente anterior, se puede apreciar la búsqueda de estrategias pedagógicas en las cuales se procuró intenciones que pueden ser llevadas al aula de una forma menos tradicional y más resolutiva.

Por otra parte, Prada Coronado (2015), realizó un estudio titulado: De la acción a distancia al concepto de campo (Trabajo de grado). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D. C., Colombia. Esta investigación tuvo como finalidad construir un contexto problemático alrededor de la acción a distancia y la descripción del concepto de campo y obtuvo como resultado plantear las discusiones sobre la acción a distancia y la teoría del campo, que lograron aclarar planteamientos históricos que se fueron dando durante la construcción del concepto de campo. La relevancia de este antecedente para la investigación en curso radica en la importancia de dar a conocer el concepto de campo eléctrico desde sus cimientos históricos y de esta manera poder aclarar la relación específica a la problemática de la acción a distancia en la física.

Con respecto, a estudios basados en estrategias lúdicas está el estudio presentado por Rodríguez (2014) que lleva por título: Aplicación de los juegos de mesa como estrategia pedagógica para facilitar el aprendizaje en la educación inicial (Trabajo de grado). Corporación Universitaria Iberoamericana. Bogotá D.C., Colombia. Este trabajo consistió en analizar el vínculo que puede llegar a generar el juego con los estudiantes en un contexto meramente académico y lúdico. Esta investigación concluyo que los juegos de mesa son generadores de pensamiento intuitivo y reflexivo y abordar constantemente el juego de mesa en el área académica como una actividad social que invita constantemente a la práctica reflexiva del estudiante. En ese mismo sentido, sus aportes a la



investigación están dirigidos a la forma en cómo debe dársele protagonismo a un material recreativo y lúdico con una estrategia pedagógica para poder generar en el estudiante el desarrollo cognitivo de cualquier información académica.

Finalmente aparece el estudio doctoral de Fernández Amigo (2008), denominado: Utilización de Material Didáctico con Recurso de Ajedrez para la Enseñanza de las Matemáticas. Estudio de sus Efectos sobre una Muestra de Alumnos de 2º de Primaria. El general fue el objetivo general fue constatar los efectos del material didáctico para la enseñanza de las matemáticas utilizando recursos de ajedrez. Se recurrió a una metodología mixta tanto cuantitativa como cualitativa. La investigación concluyó que el uso del Ajedrez mejora el rendimiento matemático en general y en algunos aspectos específicos como pueden ser las habilidades numéricas, la estructuración espacial, la memoria, las estrategias de pensamiento, el análisis y la síntesis. Además, mejora las habilidades lectoras y motoras del alumnado, así como su conducta y el rendimiento general de otras materias. Esta investigación propone al presente estudio la importancia del Ajedrez para el logro de un mayor aprendizaje de la matemática y la física, generando a su vez mejor disposición a capturar su contenido teórico y mejorar el rendimiento académico de los estudiantes de educación media y básica.

## **2.2. Recorrido Histórico del Éter hasta el Concepto de Campo**

Para Ramos (2016), el principio del Éter fue dado por Aristóteles hacia el siglo IV A.C y explica la no existencia del vacío, consideró al Éter como una sustancia que compone los cuerpos celestes, algo aproximadamente como el aire de los dioses. El problema radical de ese entonces fue la concepción del vacío, y distintos pensadores tenían concepciones divididas frente a la idea del vacío, pues si no había una sustancia material que lo ocupase, para unos este se encontraba vacío, por otro lado, se tuvo la idea de que ese vacío no se encontraba tan vacío, puesto que el aire no es vacío, tiene características de resistencia, al igual que el Éter, al que se le atribuyen características especiales.

Al pasar el tiempo, principios del siglo XVI, nuevamente empieza a mencionarse la palabra Éter, esto para dar cuenta de algunos fenómenos, para los pensadores de principio del siglo XIX una de las principales preocupaciones fue la existencia del éter y con ella la postura sobre el espacio, para la época se tenían concepciones diferentes acerca del mundo físico, una de las posiciones fue adoptada por Sir Isaac Newton que definió las características del espacio como homogéneo, infinito,

isotrópico y vacío; por otro lado está la posición de los cartesianos apoyados en Descartes que concebían el espacio continuo y extenso, en el que los cuerpos tienen manifestaciones locales y perturbaciones que viajan a través del medio.

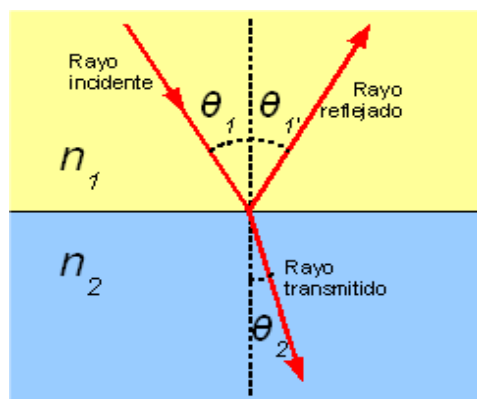
En contraste con el pensamiento Aristotélico, la doctrina de Demócrito aceptaba la idea del vacío para que los átomos pudieran desplazarse. Sus ideas materialistas fueron consideradas profanas por explicar lo divino y lo humano a base de átomos (hasta el alma está hecha por átomos decía Demócrito). Más adelante, el evangelista Torricelli, físico y matemático italiano quien por primera vez comprobó la existencia del "vacío" con el famoso experimento que lleva su nombre. Al llenar completamente con mercurio un tubo de vidrio cerrado por un extremo y luego lo invirtió introduciéndolo en una cubeta que también contenía mercurio, y entonces, sucedió algo inusitado, el mercurio descendió algo por el tubo sin entrarle aire por ninguna parte; se había creado el vacío.

Curiosamente los rayos de luz atravesaban este pequeño vacío lo cual condujo luego a Isaac Newton a concebir los manantiales de luz con capacidad de lanzar al espacio corpúsculos que se propagaban por inercia sin requerir un medio material, al igual que minúsculos proyectiles. La absorción de estos corpúsculos luminosos por parte de la materia podría provocar el "calentamiento" del receptor y su incidencia sobre el ojo produciría las sensaciones luminosas clásicas. La propagación rectilínea de la luz y las leyes que rigen su reflexión sobre superficies pulidas (espejos) podían explicarse muy bien empleando la "teoría corpuscular" de la luz, según Newton.

Pero la teoría corpuscular se quedó corta para explicar los fenómenos de refracción, difracción e interferencia de los rayos luminosos. La refracción se entiende como el cambio que experimenta la dirección de propagación de la luz cuando atraviesa oblicuamente la superficie de separación de dos medios transparentes de distinta naturaleza. Christian Huygens con su teoría ondulatoria había ya establecido a mediados del siglo XVII que se podían explicar a la vez las leyes de la reflexión y la refracción, considerando que todo manantial de luz engendra, en un medio homogéneo, una onda esférica que se propaga alrededor del mismo con una velocidad que depende de la naturaleza del medio. En esta concepción, y de acuerdo con el hecho de que en general un manantial luminoso ilumina todo lo que se encuentra a su alrededor, la propagación rectilínea se presenta como un caso particular de una propagación esférica y siguiendo el radio de la esfera que une el manantial con el receptor

La difracción de la luz se presenta cuando contornea obstáculos. Es característico de todo tipo de ondas, como por ejemplo las ondas sonoras. A partir de la teoría corpuscular de Newton resultaba prácticamente imposible interpretar este fenómeno.

Figura 1. Fenomeno de Reflexión y Refracción de la Luz



**Fuente:** tomado de Restrepo (2011)

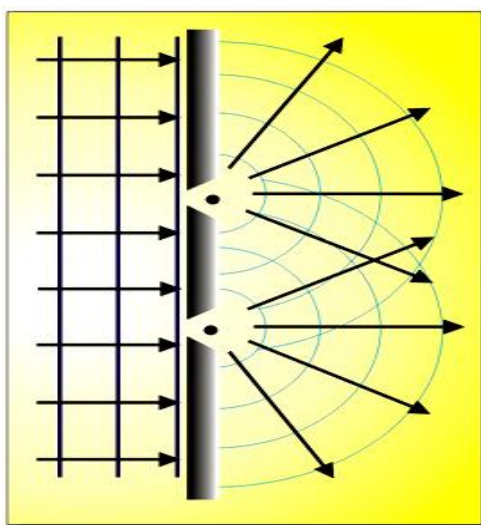
Otro aporte para destacar es el de Thomas Young con su experimento de los dos agujeros, la interacción de dos haces luminosos que proceden de un mismo manantial, pero que salen de dos orificios vecinos en una pantalla de cartulina, produce una alternancia regular de máximos y mínimos luminosos, denominados: franjas de interferencia, eran imposibles de interpretar a partir de la concepción newtoniana.

En tal sentido, el establecimiento de la identidad de naturaleza de las ondas electromagnéticas transversales y luminosas, predicha teóricamente por James Clerk Maxwell y establecida experimentalmente por Heinrich Hertz, condujo a admitir que la luz podía propagarse en el vacío, transmitida por el mismo vacío y no por los átomos tales como los del aire, el agua o el cristal. El vacío no podía ser concebido como mera ausencia de toda sustancia, ya que estaba dotado de propiedades vibratorias que se manifestaban en los fenómenos de interferencia y difracción. La materia ya no sería un medio de propagación de la luz, sino por el contrario, un medio del frenado de la misma, dificultando su propagación. El nuevo medio de propagación sería una sustancia universalmente presente en el vacío a la que denominaron "Éter" en honor a su inventor (Aristóteles).

Este Éter era la materialización del espacio absoluto de Newton. Debía ser esencialmente rígido, aunque altamente vibratorio al paso de la luz; también sería perfectamente permeable, aun de permitir

el movimiento de los átomos y de las moléculas sin ofrecerles ninguna resistencia. Su rigidez se asociaba a la de los rieles de acero que transmiten el sonido mediante ondas transversales, en cambio el aire lo transmite por medio de ondas longitudinales. Esta interpretación hizo nacer en los físicos de finales del siglo XIX la esperanza de realizar la extraordinaria operación de medir la velocidad "absoluta" de la Tierra con respecto al Éter, a pesar de la ausencia total de referencias, tanto en el Éter como en el espacio absoluto. Parecía que la propiedad de las ondas luminosas de propagarse en todas direcciones en un océano de Éter inmóvil podría aprovecharse para determinar las velocidades absolutas a partir de las velocidades relativas medidas con relación a las referencias terrestres.

Figura 2. Fenómeno de Difracción. Experimento de Thomas Young



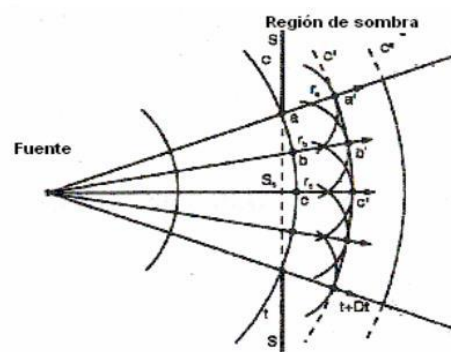
**Fuente:** tomado de Restrepo (2011)

Haciendo una ilación histórica sobre el éter, en su recorrido evolutivo hacia el concepto de campo todas las posturas de los científicos que trabajaron en él hicieron posible su aparición con explicaciones referentes a la naturaleza de la luz. Ya a finales del siglo XVII había dos posiciones firmes que explicaban la naturaleza de la luz, una representada por Sir Isaac Newton quien propuso que la luz estaba compuesta con pequeños corpúsculos; y la otra por Cristian Huygens y Roberth Hooke quienes propusieron la teoría ondulatoria de la luz. El mismo Isaac Newton por medio de sus escritos, más allá de dar una explicación racional al fenómeno de la luz en sus trabajos de óptica, intentó demostrar siempre a través de su método de observación, la existencia de un ser supremo experto en física (en términos actuales un Diseño Inteligente referido a un Dios creador-ordenador).

Aunque los estudios de Newton fueron fundamentales para explicar las propiedades de la luz; no hace mención del Éter para dichas explicaciones, esto debido a que la teoría corpuscular propuso que esas partículas que componen la luz viajan a la misma velocidad en el vacío, al ser esta teoría capaz de explicar el fenómeno de refracción y dispersión fue aceptada entre algunos pensadores de la época; pero como no todos eran coparticipes de Newton, y no concebían el espacio como homogéneo, infinito, isotrópico y vacío, se planteó entonces la teoría ondulatoria de la Luz.

En este orden de ideas, Cristian Huygens demostró la propagación de la onda en un medio material (principio de Huygens), haciendo uso de la geometría para explicar el fenómeno de reflexión y refracción de la luz. Además consideró que la Luz no podía tener el comportamiento de los corpúsculos, por esto buscó dar otra explicación a la ya presentada por Newton; introdujo la sustancia llamada Éter que para él era el medio material que permeaba el universo y permitía que la luz se propagara, puesto que era necesario tener un medio material para la propagación de las ondas, además fue más sencillo plantear una sustancia que le permitiera a la luz propagarse, que determinar el comportamiento de infinitas partículas. Este principio de Huygens plantea que un frente de ondas primario, forma uno secundario, y que el punto en el que se intersecan las ondas secundarias muestra la difracción de la luz. Huygens escribió en 1690: "*si la luz emplea cierto tiempo para recorrer una determinada distancia, resulta que este movimiento comunicado a la materia en la cual se propaga es sucesivo y, por consiguiente, se difunde, como el sonido, por superficies esféricas y ondas*". Estas ondas son semejantes a aquellas que se forman cuando se arroja una piedra sobre el agua, las cuales se van ensanchando en forma circular. (Einstein, Field y Huygens, 1939).

Figura 3. Principio de Huygens

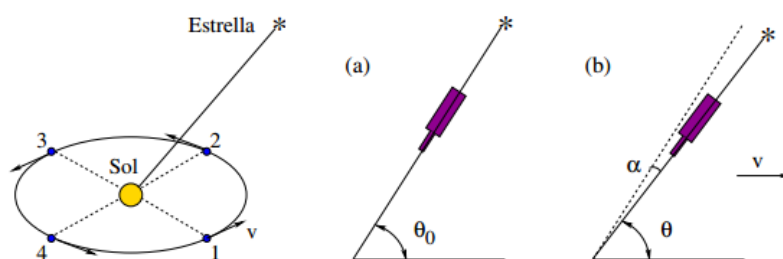


**Fuente:** tomado de Ramos (2016)

Es así como Huygens llamó posteriormente al Éter: Éter Luminífero. Lo cual dio inicio a las características que dicho Éter debió tener para que le permitiese a la luz propagarse, el medio es transparente y toma forma oblicua, ya que se encuentra en todo el universo, la teoría ondulatoria en la época mostró que con algo de matemática era más sencilla la explicación al fenómeno de la luz, además como se planteó que cada uno de los colores tenía una longitud de onda diferente, dejó de lado la suposición que cada partícula tenía un color diferente.

Cada teoría fue construyendo un lenguaje diferente, y principio del siglo XVIII, el descubrimiento óptico de la aberración estelar fue crucial para apoyar la teoría corpuscular, Bradley quien descubrió este fenómeno; supuso que la luz está formada por corpúsculos que no se ven afectados por la fuerza de gravedad. Bradley, astrónomo británico de profesión con un telescopio ubicado en la tierra (reposo), apunta una altitud teniendo en cuenta el ángulo  $\theta_0$  (figura 4), pero si la tierra se movía con una rapidez  $v$  formando una elipse, entonces el ángulo que se forma con el telescopio debe ser diferente, por tanto, esa diferencia es el ángulo de aberración que está dado por:  $\alpha = \theta_0 - \theta$ . (figura 4).

Figura 4. La Aberración Estela de Bradley



**Fuente:** tomado de Ramos (2016)

El descubrimiento de la aberración de la luz aunque determina un gran apoyo a esta teoría tiene algunos tropiezos, dentro de ellos, Thomas Young que continua apoyando la teoría ondulatoria hacia el año de 1800, basándose netamente en la velocidad de la luz, trata de encontrar una explicación a la aberración estelar por medio de la teoría ondulatoria, realizando análisis de experimentos que mostraban dicha aberración por lo cual plantea que ese Éter es una sustancia sutil que no es arrastrada por el movimiento de la tierra, afirma en su obra: “*Course of lectures on Natural philosophy*”.

En este sentido, Thomas Young considero que en el fenómeno de la aberración de las estrellas el Éter luminífero impregna la sustancia de todos los cuerpos materiales con pequeña o nula resistencia. Ésta fue una de las primeras características del Éter luminífero, ya que dicho Éter tenía la capacidad de impregnar todos los cuerpos incluso lo que se conoce como vacío interplanetario, es una sustancia sutil, ligera y rígida porque no se comprime con facilidad, sin resistencia o con una resistencia casi nula para permitir a los cuerpos su paso; la idea del Éter luminífero no le fue del todo indiferente a Newton puesto que terminó aceptándolo, pero aclarando algunas características sobre el mismo.

Sin embargo, pese a lo planteado con anterioridad se tuvo un inconveniente al hacer relaciones de la velocidad de la luz, por ejemplo, en la teoría corpuscular, aunque se mencionan varias partículas cada una con un color diferente, todas viajan a la misma velocidad en el vacío, pero a velocidades distintas en el vidrio, para la teoría ondulatoria se dice entonces que las distintas longitudes de onda tienen la misma velocidad en el Éter, pero diferentes en el vidrio. A pesar de tener formas diferentes de exponerse, de alguna manera tenían un problema con la explicación de las velocidades y la propagación.

Más adelante, Fresnel se interesó por el tema de la teoría ondulatoria junto con François de Arago, quien realizó algunos experimentos, con el fin de demostrar que lo planteado por Newton en la teoría corpuscular, funcionaba también con los cuerpos celestes; En una carta de Fresnel presentada a François Arago, dice que a pesar de que la teoría se adapte bien a lo observado, es necesario tener en cuenta que los cuerpos luminosos transmiten a las partículas de la luz un infinito número de diferentes velocidades. Desde esta perspectiva, Fresnel indica que la teoría corpuscular, describió de una manera coherente lo que sucedía con los cuerpos dentro de la tierra, encontró el inconveniente de los espectros que emitía cada cuerpo celeste. (Fresnel, 1818).

En la carta de Fresnel presentó algunas dudas relacionadas con la aberración de la luz y la explicación a dicho fenómeno por medio de la sustancia sutil llamada Éter, pero asumiendo su existencia y haciendo uso de la hipótesis planteada por Young en la que se menciona que los cuerpos son impregnados por el Éter, Fresnel planea que si se pone a viajar la luz en direcciones diferentes, la velocidad de esta debe ser diferente, ya que se menciona un arrastre parcial del cuerpo, una densidad etérea. Ahora bien, el coeficiente de arrastre de Fresnel ( $k$ ), consiste en que la densidad etérea de todo

cuerpo es proporcional, al cuadrado del índice de refracción,  $n$  y que cuando un cuerpo está en movimiento transporta dentro de él parte del éter  $\left(\kappa \equiv 1 - \frac{1}{n^2}\right)$ .

Se puede decir, que el coeficiente de arrastre ( $k$ ) sirvió para dar explicación al experimento del prisma de Arago, pero en ese momento no se le dio mayor utilidad hasta que Fizeau realiza un experimento independiente, este consistió en enviar luz a través de tuberías de agua que fluían en direcciones opuestas, asumió que como el agua es transparente debía arrastrar algo de Éter según lo postulado por Fresnel, la conclusión de este experimento fue positivo ya que mostró que los medios transparentes arrastraban una cantidad medible de éter, pero, el reto era continuar la búsqueda de detectar el movimiento de la tierra a través del Éter; éste hizo que en adelante todos utilizaran el coeficiente de arrastre formulado por Fresnel. Una vez logrado esto, se intentó evidenciar la presencia del Éter en el universo, así que Fizeau nuevamente realiza una experiencia que consistió en hacer la medición de la velocidad de la luz a través de engranajes, obtuvo que la velocidad de esta fuera 313.000 Km/s.

Posteriormente, Foucault reemplaza el engranaje rotatorio del experimento de Fizeau por un espejo rotatorio y mide la velocidad de la luz, obteniendo 298.000 Km/s. Estos resultados fueron publicados hacia el año de 1862, y para 1881 el físico Albert Michelson hace uso de espejos y láseres para determinar la velocidad de la luz, tomó el tiempo que la luz tardó en hacer un viaje desde la montaña Wilson a la montaña San Antonio, obteniendo una velocidad de 299.796 Km/s, valor muy preciso para la época; por otro lado, Michelson afirmando que, así como la velocidad del sonido es proporcional al aire, la velocidad de la luz debe ser proporcional al Éter. Esto permitió que realizara sucesivos experimentos para explicar la existencia del Éter.

En uno de esos experimentos, construyó el interferómetro (de Michelson), compuesto por un semi-espejo que divide la luz en dos haces con un ángulo determinado, uno con respecto al otro; de esta manera, era posible que los rayos provenientes de la misma fuente tomaran direcciones perpendiculares para que recorrieran distancias iguales, y recogerlos en un punto que detectaría el movimiento del Éter. La distancia hacia los dos espejos era la misma (una longitud llamada  $l$ ), de esta manera se garantizaba que los dos recorridos se debían hacer en el mismo tiempo y cualquier diferencia sería causada por el movimiento del Éter. Una analogía empleada por el mismo Michelson comparaba al Éter con el agua, y a un nadador que atraviesa un río con el haz de luz.



Hasta los experimentos de Michelson, el Éter era algo inmedible; lo cual planteó si era realmente importante demostrar la existencia del Éter. Es posible considerar que, para llegar al concepto de campo, la idea de Éter fue la fase conceptual transicional para la concepción del espacio y de cómo éste está constituido y lo que contiene, siendo que el Éter funcionaba como medio de propagación, razón por la cual generó nuevas ideas. Así como se planteó el Éter luminífero, también se planteó el Éter eléctrico y magnético, que se emplearon para dar explicación a la electrodinámica formulada por Maxwell, y a partir de ella se pudo unificar la óptica, la electricidad y el magnetismo y por tanto también el Éter, el cual fue se les denominó: Éter electromagnético y Éter Electrodinámico.

Comenta, Cassini y Levinas (2009), que para 1905 los científicos creían unívocamente en la existencia del Éter, y que éste era un imprescindible sustrato del campo electromagnético, también se concibe el éter electrodinámico como una sustancia material con un estado dinámico bien definido.

Quince años antes, en 1890 Hertz realizó un experimento por medio del cual demuestra el arrastre total del Éter. En contraposición Lorentz en 1895 muestra el Éter en un estado de reposo absoluto (a pesar del supuesto arrastre generado por la tierra). Sin embargo, cuando ellos hacen sus experimentos y dan las explicaciones sobre los resultados obtenidos, exponen que no existe la manera de evidenciar mediante algún procedimiento experimental la existencia del Éter. Esto quiere significar que, aunque era necesario plantear la existencia de dicha sustancia para explicar algunos fenómenos, los resultados experimentales no permitieron dar cuenta de la misma; por lo que se decide echar a un lado esta teoría, dejando sin explicación algunos fenómenos. Con base a los postulados de los teóricos antes aludidos, se pudo llegar a una electrodinámica de los cuerpos en movimiento simple y consistente sobre la base de la teoría de Maxwell para los cuerpos en reposo. (Wald, 1992).

Para el siglo XVII, el Éter fue un concepto que generó una gran controversia, pero sirvió para explicar lo inexplicable sobre la propagación de la luz. Ya Albert Einstein en sus escritos no se arriesgó a nombrar la existencia del Éter y en el documento de 1920 afirma que el Éter es lo que se concibe como el espacio-tiempo, y de alguna manera toma como base los experimentos de Michelson Morley, Fizeau y otros, para elaborar la teoría especial de la relatividad (T.E.R). Desde el punto de vista semiótico, la Real Academia Española, hace una definición etimológica del término Éter, el cual viene del Latín *aether*, y éste es tomado del griego *αἰθήρ* que significa Fluido sutil, invisible,

imponderable y elástico que llena todo el espacio, y por su movimiento vibratorio transmite la luz, el calor y otras formas de energía. (Real Academia Española, 2015).

Esta concepción sirvió como punto de partida para la construcción del concepto de campo, que en la actualidad es fundamental dentro de la física clásica y moderna; uno de los historiadores que muestra de una manera clara esta transición del concepto de Éter al de campo es Michel Paty quien menciona en su libro *Einstein Philosophe*, al Éter como medio de propagación para los campos eléctricos y magnéticos y afirma: “La omnipresencia del concepto de Éter no es otra, en realidad que la del concepto de campo representado en el marco de la mecánica”. (Paty, 1993). Dicho esto, independientemente de que se conciba o no el Éter en la actualidad, es importante mostrar que su desarrollo permeó de manera significativa el avance de la física. Desde entonces, se desarrollaron diferentes teorías en torno al campo, algunas involucraban la sustancia sutil del Éter y otras se inclinaban por teorías más complejas que trataban de dar explicación a los fenómenos de atracción y repulsión, muy tenidos en cuenta por Faraday para el desarrollo de sus estudios, los cuales fueron cimentados en la experimentación para la demostración de sus hipótesis.

De Faraday se puede decir que, se interesó por el tema concreto de la naturaleza de la electricidad estática, porque pensaba que podía aportar algo nuevo en relación con el modelo verdadero del mundo, y lo que más le interesaba a Faraday era discernir, de entre las teorías de Leibniz (inexistencia del vacío), Descartes (la no existencia de fuerzas) y Newton (el Éter como fenómeno explicativo del vacío), cual se podría utilizar para explicar más satisfactoriamente los resultados experimentales (Berkson, 1985). Faraday, indudablemente se inclinó hacia las ideas no Newtonianas, ya que se pensaba que estas ideas podrían ser la solución a los problemas planteados en la ciencia de la época.

Seguidamente, Henry Cavendish fue uno de los primeros en utilizar el concepto de carga eléctrica; pese a la gran cantidad de experimentos realizados, solo publicó dos artículos y dejó manuscritos que fueron descubiertos después por Maxwell. Coulomb propuso la existencia de fluidos eléctricos positivos y negativos que daban explicación a la electricidad. Denis Poisson introdujo el concepto de potencial eléctrico, y en 1811 en su artículo: “*memoria sobre la distribución de la electricidad sobre la superficie de los cuerpos conductores*”, aplicó la distribución de cargas en una superficie y mostró la formalización matemática basada en la ley de Coulomb. Volta, por su parte,

descubrió la posibilidad de producir corriente eléctrica continua, la cual sirvió de fundamento para la creación de la batería eléctrica.

Por otro lado, el método de visualización de la distribución de líneas de fuerza fue de mucha importancia para Faraday, por lo que él pensó en la posibilidad de una teoría no newtoniana de la corriente y la electricidad estática, que intentó desarrollar en el transcurso de su vida. Los aspectos que consideró para una teoría no newtoniana fueron: 1. Unidad de todas las fuerzas, 2. Rechazo a la materia extensa distinta de la fuerza y 3. El mundo está lleno y la acción no se lleva a cabo a distancia (Belendez, 2008).

En búsqueda de una identidad propia, Faraday centrado en la electricidad se inclinó por lo experimental, algunas de las cosas que hizo fue recrear los experimentos de Oersted, ya que con estos se mostraba la influencia de la corriente eléctrica sobre un imán. Dentro de las hipótesis que planteó no daba lugar a la existencia de fluidos sutiles como el Éter, pero no negaba la existencia de un fluido eléctrico de manera hipotética, y puede que los efectos dependan de alguna propiedad común a la materia en general; y esto es tanto más probable cuanto que no se conoce ninguna materia que deje de exhibir esos peculiares fenómenos eléctricos, en determinadas circunstancias. (Berkson, 1981).

Con estas declaraciones, evidencia que no siguió del todo la línea de Boscovich, ya que él no daba lugar a la existencia de ningún fluido, lo que está claro es que había un fluido que interactuaba con las cargas que hacían visible los fenómenos eléctricos y magnéticos. Más tarde Faraday, descubrió las rotaciones electromagnéticas y con el hallazgo del motor eléctrico (motor homopolar), dio lugar a un mundo basado en los campos y el principio del motor eléctrico. En su teoría del campo electromagnético, plantea la hipótesis de las fuerzas como la única sustancia física.

Lo que actualmente se conoce como las líneas de fuerza o campo tuvieron origen en la época de Faraday, él inicialmente les llamó líneas físicas de poder, básicamente ellas daban cuenta de la fuerza existente en el transporte y ejercicio de los cuerpos magnéticos a distancia. La idea de las líneas de fuerza como método de representación tuvo gran acogida; esto coincidía con la visión de W. Thomson sobre las líneas de fuerza aplicadas a la electricidad estática. La ley de Fourier sobre el movimiento del calor mostró el mismo resultado matemático que la ley de Coulomb, por lo que Thomson llegó a la conclusión que el poder de conducción de un medio magnético puede ser

expresado en términos de líneas de fuerza. Por su parte, Van Rees publicó un artículo mostrando su desarrollo matemático de las líneas de fuerza, y Faraday dice de Rees que no es partidario de dejar de lado las teorías antiguas por las de flujos o corrientes, es decir que no es conveniente dejar de lado ideas como la del Éter. Faraday pronunció las siguientes palabras:

*Siempre fue mi intención evitar sustituir estos fluidos o corrientes por cualquier otra cosa que la mente podría sacar del cautiverio de las nociones preconcebidas, pero para aquellos que desean una idea sobre la cual descansar está el viejo principio de los éteres (Faraday M., 1855).*

Cabe destacar, que previo a los estudios de Faraday, se encuentran los descubrimientos de Hans Christian Ørsted en 1820, demostrando empíricamente que un hilo conductor de corriente podía mover la aguja imantada de una brújula, interactuando entre sí las fuerzas eléctricas y las fuerzas magnéticas, lo que en aquella época resultó revolucionario. Más adelante, el 1825, Ampère en su obra: “*Teoría matemática de los fenómenos electrodinámicos*”, deducida a partir de los experimentos de Ørsted los fundamentos teóricos del electromagnetismo, conocidos como la Ley de Ampère, donde se postulaban la relación básica que existe entre la corriente eléctrica y el surgimiento de un campo electromagnético. De esta manera, el objeto de estudio de Faraday consistió en llegar a encontrar la naturaleza magnética, por ello se incluyen nuevos conceptos dentro de sus estudios como el de tiempo y polaridad.

El concepto de polaridad como muchos conceptos que se trabajan en física, antes de un descubrimiento radical o una demostración de que es esa la descripción o definición única pasa por diferentes concepciones, como el éter, la luz, entre otros; en este caso, la matemática no dio un aporte significativo para despejar la incógnita de la polaridad, por lo que cada vez se hizo necesario un experimento decisivo. “*Así podemos esperar, por un debido ejercicio del juicio unido al experimento, obtener una resolución de la dificultad magnética también.*” (Faraday M., 1855). Para solucionar esta cuestión, Faraday propuso la hipótesis física del imán considerando por un lado que ya se había demostrado matemáticamente la existencia de las líneas abstractas, representando la dirección y cantidad de poder magnético, su uso propio de las mismas para dar explicación a fenómenos electromagnéticos. A pesar de estas definiciones, el problema hasta este punto consistió en que Faraday no había desarrollado un experimento crucial que proporcionara pruebas fehacientes que indicaran que su teoría estaba por encima de teorías propuestas por Ampère, Coulomb o cualquier

otro. El experimento decisivo que le permitió demostrar la inducción lo realizó hacia 1836 después de varios experimentos fallidos, este consistió primero en estudiar la forma del imán decidiendo que fuera un aro, a este anillo se le enrolló la mitad con cable cuyas puntas iban a una batería y en la otra mitad se realizó el mismo procedimiento pero con los extremos unidos a un galvanómetro como resultado se obtuvo que al cerrar el circuito el anillo quedaba imantado, y el galvanómetro indicaba un paso de corriente muy leve, al abrir el circuito el anillo se desimantaba y el galvanómetro volvía a registrar una leve corriente. Al estado del cable lo llamó “*estado electrotónico*” su teoría estableció que la creación o variación del *estado electrotónico* siempre producía una corriente. (Berkson, 1981).

Otro experimento decisivo y no muy conocido fue el efecto Faraday, o efecto magneto óptico, en este es posible evidenciar el giro que se da a un haz de luz polarizado que atraviesa un material al que se le aplica un campo magnético, demostrando que la fuerza magnética y la luz estaban relacionadas entre sí, aportes significativos al desarrollo de la electricidad y el magnetismo, luego de estas afirmaciones apareció una nueva cuestión que impulsó a Faraday a desarrollar otros experimentos, la cuestión planteó una pregunta alrededor del campo magnético que se genera en un disco conductor y la intensidad relacionada con el flujo de corriente, el siguiente experimento consistió en un disco conductor sobre una barra magnética girando en torno a un imán, como resultado Faraday descubrió que cuando el imán y el disco giran simultáneamente generaron corriente continua.

Este descubrimiento hizo que cambiara su teoría de inducción, señaló entonces que la condición básica para esta residía en el corte de las líneas de fuerza que realiza el cable. Ya para esta época y luego de este descubrimiento y de formalizar la existencia de las líneas de fuerza, Faraday tenía clara su postura. Había demostrado que la perturbación en un campo requería tiempo para propagarse, su teoría se diferenció de la Teoría propuesta por Newton en algunos puntos, entre ellos la inexistencia de la acción a distancia. Por otro lado, el cuerpo material sufre un cambio de configuración cuando es afectado por una fuerza dentro del campo, Faraday planteó en algún momento que la acción a distancia no se daba de manera instantánea por lo que incluye el tiempo como una variable dentro de su teoría. (Belendez, ob.cit).

Con respecto al tiempo, Faraday, lo consideró un concepto fundamental para describir la acción magnética, expresando que si se intentara medir el tiempo que tarda una carga en interactuar con otra,

sucedería lo mismo que en el caso de la luz y su velocidad, dando como resultado un valor muy pequeño. De los aportes de Faraday, James Clerk Maxwell dio inicio a su propio planteamiento sobre los conceptos sobre el campo, formalizándolo matemáticamente. (Maxwell, 1892). Maxwell propone que las fuerzas son el producto de la intensidad del campo que actúan sobre la materia del mismo punto que el campo. Las fuerzas, fueron parte fundamental de la teoría de campo planteada por Faraday, y en su momento existían fuerzas de superficie, lineales y puntuales. En los siguientes apartados se hará referencia a los planteamientos de Maxwell, debido a que se ha venido planteando la evolución histórica del éter hasta llegar al concepto de campo.

### 2.3. Electricidad

Gabàs Masip (2015), describe que en el siglo XVII se produjo un invento que posibilitó una sucesión de experimentos que permitieron el avance en el conocimiento de los fenómenos eléctricos. El alemán Otto von Guericke construyó la primera máquina electrostática por frotación. Consistía en una esfera de azufre atravesada por una barra de hierro. Cuando se colocaba la mano sobre ella y se hacía girar unas cuantas veces podía atraer todo tipo de objetos. En el siglo siguiente el inglés Stephen Gray realizó gran número de experimentos con este aparato y llegó a la conclusión que aquellas sustancias como los metales, que al ser frotadas no se electrizaban, eran conductoras del *efluvio eléctrico*.

Logró transmitir electricidad a través de un alambre una distancia de 100 metros. En 1733, el francés Charles François de Cisternay Du Fay publicó un trabajo donde identificaba dos tipos de cargas eléctricas distintas. Según su naturaleza los cuerpos se podían cargar de electricidad vítrea o resinosa. Los que habían adquirido electricidades de tipos distintos se atraían y los que habían adquirido el mismo tipo de electricidad se repelían. En 1785, Charles de Coulomb dio a conocer una ley matemática que cuantificaba la fuerza eléctrica con que se atraían o repelían dos cuerpos cargados.

Por otra parte, en la década de 1740 el holandés Pieter van Musschenbroek dio a conocer la *botella de Leyden*, el primer condensador eléctrico y consistía en una botella con un tapón atravesado por una varilla metálica sumergida en agua. Si se ponía en contacto el extremo exterior de la varilla con una máquina electrostática, el agua del interior se cargaba. Si se acercaba el extremo exterior de

la varilla a un cuerpo no aislado se producía una chispa y una descarga eléctrica. Pocos años después el polifacético norteamericano Benjamín Franklin demostró que los rayos eran descargas electroestáticas como las de la botella en su famoso experimento de la cometa. También formuló la teoría del fluido único y clasificó las sustancias en positivas o negativas según si tenían exceso o defecto de fluido eléctrico.

#### 2.4. Ondas Electromagnéticas

Tras la publicación de su artículo “*On Physical Lines of Force*”, Maxwell siguió trabajando sobre el modelo de vórtices rotatorios, para incorporar las fuerzas electroestáticas. En 1861 en Glenlair, tuvo una idea fructífera, la cual trataba de considerar un medio elástico e identificar las fuerzas provocadas por la elasticidad transversal de los vórtices con las fuerzas electroestáticas. El desarrollo de esta nueva idea le llevó a la convicción que los fenómenos electromagnéticos se propagaban en forma de ondas transversales. Al ser similares a las ondas lumínicas, intuyó que quizás ambos fenómenos tenían lugar en el mismo medio. Tiempo después, tras consultar algunas bibliografías y realizar varios cálculos comprobó que su intuición tenía fundamento. La velocidad de propagación de los fenómenos electromagnéticos en forma de ondas transversales que le permitía calcular su modelo coincidía con la velocidad de la luz medida con medios ópticos. Todas estas ideas fueron publicadas como las partes 3 y 4 de un artículo entre diciembre de 1861 y febrero de 1862.

En la Parte III, del mencionado artículo, (Maxwell, 1862), titulada “*The Theory of Molecular Vortices applied to Statical Electricity*”, trataba las fuerzas electroestáticas. En los materiales aislantes, las partículas eléctricas estaban ligadas a los vórtices (o células como también les llama en esta parte) rotantes de tal manera que no podían pasar de uno a otro. Si se dotaba a las células de elasticidad, se deformarían ante la presión de las partículas eléctricas al desplazarse. Esta distorsión y su tendencia para volver a la forma original permitirían la explicación dentro del modelo de los fenómenos de atracción y repulsión de los cuerpos cargados eléctricamente.

En esa parte III, empezaba estudiando las condiciones de equilibrio de una de las células, tratándola como una esfera elástica cuya superficie estaba expuesta a fuerzas tangenciales y normales. Considerando que la elasticidad del medio dependía de fuerzas actuando entre pares de células, obtenía una expresión para la *intensidad de campo eléctrico*. Dependía de la elasticidad transversal del medio y del desplazamiento de las partículas eléctricas. Este pequeño movimiento de las

partículas constituía también una *corriente de desplazamiento*. La añadió a la fórmula de Ampère que relacionaba la corriente eléctrica ordinaria con la intensidad magnética. Resultaron tres ecuaciones en sendas direcciones del espacio que eran la forma primitiva de lo que se llamaría ley de Ampère-Maxwell.

Por otro lado, la variación temporal de la carga en un punto se podía expresar en función de la variación espacial de la corriente en ese punto. Utilizando las tres ecuaciones que acababa de encontrar se podía definir la carga únicamente en función de la elasticidad transversal del medio y de la variación espacial de la *intensidad de campo eléctrico*.

Seguidamente calculaba la fuerza electrostática entre dos cuerpos cargados buscando la energía debida al desplazamiento eléctrico que provocaban. Utilizando la expresión para la carga que acababa de encontrar obtenía una ecuación que relacionaba esta energía con la carga de uno de los cuerpos y el potencial del otro. Igualando su variación al trabajo necesario para separar ambos cuerpos obtenía una expresión para la fuerza electrostática. Esta dependía de las cargas de los cuerpos, el inverso del cuadrado de su distancia y la elasticidad transversal del medio. Conjugando esta expresión de la fuerza electrostática con la de la fuerza magnética generada por las mismas cargas en movimiento, obtenía un interesante resultado. La elasticidad transversal del medio se podía expresar en función de la ratio entre las unidades electrostática y electrodinámica de medición de carga.

En la segunda parte del artículo había explicado la inducción electromagnética a través de la sucesiva puesta en movimiento de los vórtices (o células) contiguos propagada con una velocidad finita. Si las células gozaban de elasticidad, era previsible que este proceso avanzara en forma de ondas. Al transmitirse simultáneamente el movimiento de las partículas eléctricas y la rotación de las células que describían las líneas de fuerza magnética, se trataría de ondas electromagnéticas. Por otro lado, tanto el desplazamiento de partículas como la distorsión de células se producían en una dirección perpendicular a la de propagación. De la teoría de ondas transversales se desprendía que la velocidad de propagación en un medio era la raíz cuadrada de la ratio entre su elasticidad transversal y su densidad. En la primera parte del artículo había definido la analogía entre la densidad de los vórtices y su capacidad de inducción magnética cuyo coeficiente en el vacío era la unidad. Conjugando la expresión de la velocidad de propagación de las ondas transversales con la que



acababa de encontrar para la elasticidad transversal del medio obtenía un resultado muy interesante. La velocidad de propagación de las ondas transversales en el medio electromagnético era igual a la ratio entre las unidades electrodinámica y electroestática de medición de carga. Este ratio había sido determinado experimentalmente por Rudolf Kohlrausch y Wilhelm Weber (Kohlrausch y Weber, 1857).

Weber había trabajado años atrás en Gottingen junto a Gauss en el establecimiento de un sistema de unidades electromagnéticas y había definido la unidad de intensidad de corriente eléctrica en función de la unidad de fuerza magnética por unidad de longitud y las leyes electromagnéticas. Para hacerlo había asumido la antigua hipótesis según la cual los dos tipos de electricidad *vítrea* (positiva) y *resinosa* (negativa) constituían dos fluidos circulando en ambas direcciones al mismo tiempo. A partir de la unidad de intensidad por unidad de tiempo definía la unidad electrodinámica de medición de carga.

Por otra parte, se podía definir también la unidad electroestática de medición de carga en función de la unidad de fuerza eléctrica y la unidad de longitud según la ley del inverso del cuadrado de la distancia. El análisis dimensional mostraba que la ratio entre ambas mediciones era una velocidad. Presumiblemente la de propagación de los fenómenos electromagnéticos. El experimento de Kohlrausch y Weber se dividía en dos partes. En la primera se cargaba una botella de Leyden con un generador electroestático. Se pasaba una porción de esta carga a una esfera metálica con capacidad conocida y convenientemente aislada.

Después se pasaba la mitad de la carga de la esfera a otra idéntica para medir mediante un instrumento, similar a la balanza de torsión de Coulomb, la fuerza de repulsión y separación entre ambas. Se obtenía así una estimación de la carga en unidades electroestáticas. En la segunda parte, se descargaba la botella con la esfera, a través de un circuito de cobre en forma de círculo, para medir la fuerza que ejercía sobre una aguja magnetizada en su centro. Resultando así una estimación de esta carga en unidades electrodinámicas. Weber sospechaba que la ratio entre ambas mediciones guardaba alguna relación con la velocidad de la luz. Sin embargo, la hipótesis del doble fluido había introducido un factor 2 en las ecuaciones que no le permitió una interpretación en que fenómenos ópticos y electromagnéticos se unificarían por completo. Maxwell identificó correctamente que el factor 2 introducido en la estimación de la ratio era debido a que se consideraban cargas opuestas

circulando en ambas direcciones al mismo tiempo. Si se aplicaba la hipótesis del fluido único y se consideraba que toda la carga se desplazaba en una sola dirección se obtenía un valor de 310.740.000.000 mm/s. Como acababa de demostrar, este valor coincidía con la velocidad de propagación de las ondas transversales en el medio electromagnético.

En otro orden de ideas, Hippolyte Fizeau había realizado un experimento sin utilizar ningún aparato eléctrico o magnético en que estimaba la velocidad de propagación de la luz en 314.858.000.000 mm/s. Maxwell concluyó que esta coincidencia tenía que implicar una naturaleza electromagnética de la luz, lo cual lo llevo a señalar: *“difícilmente podemos evitar la inferencia de que la luz consiste en ondulaciones transversales del mismo medio que es la causa de los fenómenos eléctricos y magnéticos.”* Maxwell, (ob.cit).

Por último, en el apartado IV, de su artículo titulado: *“The Theory of Molecular Vortices applied to the Action of Magnetism on Polarized Light”*, usaba el modelo para explicar uno de los fenómenos que le habían inspirado para idear el modelo de los vórtices o células rotantes. El efecto descubierto por Faraday unos quince años atrás consistía en la rotación del plano de polarización de una onda lumínica en la dirección de su propagación por el efecto de un campo magnético. Con el estudio del efecto sobre la luz polarizada de la rotación de los vórtices y el movimiento de las partículas eléctricas afianzaba el resultado más importante de este artículo: *“la luz es una onda electromagnética”*.

## **2.5. Ecuaciones de Maxwell**

Maxwell entre 1861 y 1862 construía una teoría sólida que relacionaba definitivamente electromagnetismo y óptica; pues, la luz era una onda electromagnética. En el desarrollo de su teoría del campo electromagnético, empleó una aproximación cercana a la mecánica analítica de Lagrange. Este había hecho un gran esfuerzo para reducir la mecánica de Newton a un conjunto de fórmulas generales de sencilla aplicación. Había deducido las leyes de la mecánica utilizando simplemente el cálculo diferencial y el principio de mínima acción, sin apoyar sus deducciones en la geometría. Había expresado las energías cinética y potencial de un sistema material determinando la configuración de sus partes por tantas variables como grados de libertad. A partir de ellas se podían obtener por derivación las ecuaciones del movimiento.

Aplicando este enfoque al fenómeno electromagnético, Maxwell realizó un nuevo trabajo que fue leído ante la *Royal Society* en diciembre de 1864. Al cabo de unos meses fue publicado en sus *Transactions* como un artículo de siete partes bajo el nombre “*A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*” (Maxwell, 1865). En la Parte III titulada “*General Equations of the Electromagnetic Field*” se presentaba un sistema de ocho expresiones. Eran dos ecuaciones escalares y seis vectoriales formadas por tres ecuaciones para cada eje del espacio. Se trataba pues en total de un sistema de veinte ecuaciones con veinte variables. Algunas de estas ecuaciones ya habían ido apareciendo en sus artículos anteriores, pero aquí estaban agrupadas por primera vez bajo el nombre *ecuaciones generales del campo electromagnético*. Después de pasar por diversos procesos, actualmente se conoce como las *ecuaciones de Maxwell* para el campo electromagnético a un conjunto de cuatro ecuaciones vectoriales:

1. ***Ley de Gauss para el Campo Eléctrico:*** En ella, el flujo eléctrico a través de una superficie cerrada es proporcional a la suma de la carga total que alberga en su interior. El flujo eléctrico es análogo al de la mecánica de fluidos. Se utiliza para describir el campo eléctrico en relación a una superficie, es decir, cuál es la componente del campo perpendicular a dicha superficie. Aunque en la formulación original (Maxwell, 1865) no aparecía en su forma actual, puede obtenerse fácilmente combinando la *ecuación de la electricidad libre* (G) con la *ecuación de la elasticidad eléctrica* (E). En la formulación original aparecía la elasticidad eléctrica en lugar de su inversa la *permitividad*. El operador nabla es la derivada parcial de cada componente del vector en cada una de las direcciones del espacio. Seguido de un producto escalar ( $\cdot$ ) representa la divergencia o la magnitud de ganancia o pérdida de intensidad de un campo vectorial en un punto. Seguido de un producto vectorial ( $\times$ ) representa el rotacional o magnitud de la inducción a rotación de un campo vectorial alrededor de un punto. Los términos rotacional o *curl* y convergencia fueron sugeridos por el propio Maxwell para referirse a los distintos tipos de variación en un campo de vectores. Actualmente se siguen utilizando salvo que el término convergencia ha sido sustituido por su negativo, divergencia o *div*.
2. ***Ley de Gauss para el Campo Magnético:*** Según ella el flujo magnético a través de cualquier superficie cerrada es siempre nulo. Esto equivale a decir que todas las líneas de fuerza magnética que entran en tales superficies salen de igual manera, o lo que es lo mismo es imposible encontrar en su interior una fuente o sumidero de campo. Esto implica la no existencia de los polos

magnéticos aislados y que las líneas de fuerza de los campos magnéticos deben ser cerradas. Esta expresión no aparecía en la formulación original (Maxwell, 1865).

3. **Ley de Faraday:** Según ella la circulación de la *intensidad de campo eléctrico* en un circuito cerrado (fuerza electromotriz) es directamente proporcional a la rapidez con que varía el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera con dicho circuito como borde. Esto implica que un campo magnético variable en el tiempo provoca la existencia de un campo eléctrico. Aunque en la formulación original (Maxwell, 1865) no aparecía en su forma actual, puede obtenerse fácilmente a partir de las *ecuaciones de las fuerzas magnéticas* (B) sustituyendo el momento electromagnético por la *intensidad de campo eléctrico*. Maxwell había utilizado el momento electromagnético para describir el *estado electro-tónico* de Faraday (Maxwell, 1864). La variación temporal del momento equivale a la *intensidad de campo eléctrico*. Este cambio en la formulación fue introducido por Oliver Heaviside intentando buscar una cierta simetría entre campo eléctrico y magnético. Heaviside también aplicaría la notación vectorial utilizando una flechita encima de las letras en mayúsculas para referirse a vectores.
  
4. **Ley de Ampère-Maxwell:** Ampère había encontrado una relación para un campo magnético y una corriente eléctrica que no variaban en el tiempo. Según la expresión actual de esta ley la corriente eléctrica que atraviesa una superficie abierta finita es proporcional a la circulación de la *intensidad de campo magnético* en la curva cerrada que constituye el borde de dicha superficie. Cuando se considera esta ley a lo largo de un circuito eléctrico se puede ver que en la parte donde está la diferencia de potencial hay una discontinuidad.

Maxwell introdujo un nuevo término en que se consideraba en ese punto la variación temporal del flujo eléctrico como constituyente de unas pequeñas *corrientes de desplazamiento*. Este disminuía con la fuerza electromotriz a la vez que la carga se equilibraba entre los extremos por efecto de la corriente. La *ley de Ampère-Maxwell* puede obtenerse a partir de la formulación original, fusionando las *ecuaciones de la corriente eléctrica* (C) y las *ecuaciones de la corriente total* (A). Una forma fusionada de ambas expresiones ya había aparecido en el anterior artículo de Maxwell. Pero allí, la variación del desplazamiento eléctrico con el tiempo aparecía en el otro lado de las ecuaciones, por necesidades en el desarrollo matemático de lo que allí trataba. Ambas están en fase y sus frentes se propagan a la velocidad de la luz.

Finalmente, si se consideran estas ecuaciones en el *vacío*, la densidad de carga de la ecuación (1) y la densidad de corriente de la ecuación (4) son cero. Gracias al término de corrientes de desplazamiento las ecuaciones adquieren una gran simetría:

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \cdot \vec{E} &= 0 \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{d\vec{B}}{dt} \\ \vec{\nabla} \times \vec{B} &= \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}\end{aligned}$$

Una solución consiste en dos planos de ondas transversales perpendiculares entre sí del campo eléctrico y el campo magnético

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

## 2.6. Teoría de las Ondas Electromagnéticas

Para Wiederkehr, (2007), uno de los personajes más influyentes en la consolidación de la teoría de las ondas electromagnéticas fue Heinrich Hertz. Después de estudiar ingeniería en Dresde, se desplazó a Berlín para aprender física con Gustav Kirchoff y Hermann von Helmholtz. Tras obtener su doctorado, pasó un tiempo como asistente de Helmholtz. Este último, gran admirador de Weber llamó su atención sobre la teoría electromagnética de Maxwell. Tras un periodo de profesor en la Universidad de Kiel, Hertz se trasladó en 1885 a la Universidad de Karlsruhe. Allí, siguiendo con sus trabajos, comprobó experimentalmente la existencia de las ondas electromagnéticas predichas por Maxwell. A tal efecto, construyó él mismo en el laboratorio de física de la Escuela Técnica Superior un emisor y un receptor. Como emisor utilizó un aparato consistente en un circuito por donde pasaba corriente en el que había una discontinuidad.

En cada uno de los extremos de la discontinuidad estaba situada una pequeña esfera de latón. Ambas estaban separadas por un pequeño espacio por donde se producían descargas eléctricas en

forma de chispas. Gracias a esta técnica pudo obtener unos campos eléctricos que variaban con una frecuencia suficientemente alta para ser detectados por un aparato receptor. Como receptor utilizó un artilugio formado por un cable cerrado en un punto de cuyo recorrido había también dos pequeñas esferas separadas por un pequeño espacio. Cuando las chispas saltaban en el emisor, las ondas electromagnéticas provocadas por estas descargas inducían una corriente en el receptor que provocaba también chispas en este. La carrera de Hertz fue muy breve ya que murió de septicemia con treinta y seis años; sin embargo, a partir de sus sencillas experiencias con las ondas electromagnéticas se pudieron desarrollar a posteriori todas las telecomunicaciones inalámbricas del siglo XX.

Cuando se comenzó a cuestionar la luz y su composición, algunas teorías involucraron la existencia del éter, otras definieron un medio con ciertas características pero sin darle ese nombre, otros simplemente le llamaron vacío, pero independientemente del nombre y las características, elásticas, sutiles, ligeras que le dieron lo único que se puede inferir es que ese medio existía, porque había algo que permitía que la luz se propagara por el espacio, y si bien la luz se concibe como onda o como partícula, cualquiera de las dos necesitaba un medio para moverse o desplazarse. Entre 1800 y 1900 se dejaron atrás las explicaciones mecánicas propuestas por Isaac Newton, debido a explicaciones no mecanicistas iniciadas por Faraday, Maxwell, Hertz entre otros; siendo relevante agregar que para el docente como investigador se hace más pertinente la enseñanza de cualquier concepto de física, como es el concepto de campo eléctrico, si al momento de estar en el aula de clase se muestra la evolución histórica del concepto Éter en cuanto a los experimentos realizados, con lo cual se apostaría a tener una mejor conceptualización y reflexión por parte de los estudiantes de educación media y sobre todo cambiar la imagen que tiene la ciencia física y matemática como ciencias monótonas, por una imagen positiva gracias a la cual existen grandes avances científicos.

## **2.7. Perspectiva Pedagógica de Enseñanza y Aprendizaje a través de Estrategias Lúdicas**

Las perspectivas y maneras de abordar y analizar las formas en cómo se enseña en el aula, son distintas si lo que se pretende es hacer una reflexión descriptiva de aquellas áreas en donde la forma de enseñar lleva un peso importante. En el caso particular de la enseñanza de las ciencias, al ser un área del saber que aborda y orienta a los estudiantes, para que conozcan y se familiaricen con su entorno, lleva un valor importante, pues necesita del mismo entorno y de los fenómenos presentes en él, para que fluya en una relación más amigable con el estudiante, pues el carácter práctico de un tema

específicamente en un laboratorio o aula de clases, invita constantemente a relacionarse con el objeto de estudio y con sus propiedades.

Las posibilidades que tiene el juego en la enseñanza de las ciencias naturales son amplias, pues muchas veces no se cuenta con el material de laboratorio indicado para llevar al cabo practicas experimentales necesarias que involucren de los estudiantes aspectos más pragmáticos que teóricos, por otro lado, el juego puede desempeñarse como una herramienta importante mediante la cual puede introducirse ideas y percepciones que no son fáciles de ver a simple vista para los estudiantes. Es por ello por lo que Melo Herrera y Hernández Barbosa (2014), comentan:

*El juego es una actividad que ha aportado a la construcción del individuo y a la sociedad. Es una actividad inherente al ser humano, vinculada al gozo, al placer y a la diversión. Su importancia en el proceso de enseñanza y aprendizaje es reconocida, pues se considera que, enmarcado en una actividad didáctica, potencia el desarrollo cognitivo, afectivo y comunicativo, que son aspectos determinantes en la construcción social del conocimiento. (p. 57).*

Antes de ser estudiante se es persona, y la condición humana lleva dentro de sí el juego como una tradición que nace mucho antes que la cultura y se hace parte de la identidad personal, es por eso que, mediante el juego puede establecerse un canal de aprendizaje sin desconocerse la forma en cómo se aprende y cómo se internalizan nuevos conceptos. En la enseñanza de la física más exactamente desde la rama del electromagnetismo, se buscan formas y maneras en que el estudiante tenga algunos acercamientos a los fenómenos naturales que se pueden recrear en una práctica experimental, como los tipos de electrización y las líneas del campo magnético de un imán con limadura de hierro.

Por lo general existe una gran aceptación de esta práctica por parte de los estudiantes, pues es una forma de motivar y relacionar los fenómenos físicos con las vivencias de los estudiantes (Keys, 1988; citado por Hodson, 1993). El papel que juega el laboratorio y la práctica experimental es importante tanto para el maestro como para los alumnos y más en el escenario de esta rama de la física en la que, muchas veces los fenómenos no son tan visuales como otros. Existen ocasiones y momentos dentro de la práctica experimental en que una pequeña sección del número de estudiantes participes, no se siente cómoda o disfruta de las practicas que se están llevando a cabo en el laboratorio, bien sea porque no es de su interés o incluso no comprende muy bien el porqué de lo que

se está haciendo (Hodson, 1993). Por eso es necesario acudir a otras herramientas distintas que ayuden a hacer esa transición entre práctica experimental y abstracción de conceptos; el juego, por su parte entra aquí, como se mencionó anteriormente, a cumplir una tarea pedagógica que motive al estudiante y lo ayude a comprender lo que no es perceptible para este a simple vista.

El juego de ajedrez planteado en este trabajo, es el hilo conductor que lleva en sí, esos planteamientos sobre las interacciones de las cargas eléctricas que no son tan claras en el laboratorio para un estudiante, siendo un juego tan reflexivo y de una dinámica clara, puede plantearse este junto con el concepto de campo eléctrico como una forma amable de abordar el concepto, pues siendo más visual y teniendo figuras y formas tan claras puede representar a los estudiantes dinámicas más familiares que las que se pueden recrear en el laboratorio, es por esto que se plantea esta propuesta como una forma de enriquecer esas experiencias en cuanto a comportamiento de las cargas eléctricas como un momento previo a la práctica experimental.

## **2.8. El Juego como una Forma de Aprendizaje**

Para tener un panorama amplio que nos permita comprender, como el juego puede contribuir y fortalecer algunas estrategias de enseñanza y aprendizaje, es necesario primero partir de que estos, inducen a los jugadores frecuentemente a la reflexión y al buen proceder, entendiendo el buen proceder como un conjunto de estrategias previamente analizadas durante el juego para ser ejecutadas en el momento más oportuno. Los juegos de mesa invitan constantemente a la reflexión en cada parte y en cada momento, pues es común que en estos se necesite idealizar un plan de juego, bien sea para perjudicar a un rival o para acercarse a una posible victoria, estos son promotores de crítica y planeación, incluso, entrenadores de supervivencia. El juego es una actividad natural, libre y espontánea, actúa como elemento de equilibrio en cualquier edad porque tiene un carácter universal, pues atraviesa toda la existencia humana, que necesita de la lúdica en todo momento como parte esencial de su desarrollo armónico (Cepeda Ramírez, 2017).

Es necesario que estas prácticas educativas se adopten en todos los espacios y campos del saber, pues el permitir que un niño, joven o adulto juegue en simultáneo en la medida que aprende cosas nuevas, está involucrando su humanidad, perdiendo así, y más aún cuando se es adulto, cualquier estigma que se pueda tener de los juegos con propósitos educativos, en los campos del saber de la



educación superior y en cuanto a las formas de adquirir conocimientos en relación con un concepto puntual. En los momentos de aprendizaje, existen falencias en la interacción y la comunicación, debilidades que en ocasiones impiden que la persona que está en un proceso de aprendizaje, aparte de complicar su desarrollo cognitivo, agrande o cree problemas de comunicación como el orden, la escucha y la atención. A raíz de esto, Cepeda Ramírez (2017), afirma:

*Los juegos inspiran a los estudiantes a pensar, a crear y recrear con actividades que contribuyen al desarrollo de la atención y la escucha activa, el seguimiento de instrucciones y el compromiso para cumplir reglas, para, de esta manera, comprender en la vivencia y convivencia, en la acción y corrección. (p, 114).*

Es importante entonces tener en cuenta que no es suficiente con únicamente implementar estrategias en base al juego para utilizarlas como un medio de enseñanza en ambientes académicos, sino que también es necesario que el estudiante aprenda a jugar y acomodarse para que su proceso de aprendizaje mediante el juego tenga un mejor sentido y significado para su comprensión, desarrollo social y cognitivo.

## **2.9. El Ajedrez como Arte y Deporte**

Por su parte, Fernández Amigo (2008), argumenta que el Ajedrez es un juego de mesa proveniente del Chaturanga (Del Sanscrito, que significa cuatro miembros que se practicaba en la India en el siglo VI d.C). Se practicaba en un tablero cuadrado de 64 casillas (8 por 8), alternando sus colores entre claros y oscuros. Juegan dos bandos y cada uno dispone al principio de la partida de 16 piezas con diversas funciones y valores. Cada bando dispone de un rey, una dama, dos alfiles, dos caballos, dos torres y ocho peones. Los bandos se distinguen entre sí por un color diferente, habitualmente entre blancas y negras; pero, actualmente se han cambiado a marrones y cremas. Independientemente del bando, las piezas tienen un movimiento especial sobre el tablero y gana la partida el jugador que logre acorralar al rey adversario sin que tenga escapatoria alguna, en lo que se conoce como: Jaque Mate.

El Ajedrez fue introducido en España por los árabes. La primera referencia al Ajedrez moderno en España se encuentra en el libro de Francesc Vicent, impreso y publicado en Valencia a finales del

siglo XV, con el título: Libro de los Juegos Partidas del Ajedrez, en el que se crea la figura de la dama que hasta entonces no existía, siendo la comunidad Valenciana, el punto de partida del Ajedrez moderno. El Ajedrez no es un juego de azar, sino en un juego basado e tácticas y estrategias. Su desarrollo es tan complejo que ni los ms experimentados pueden dominar todas sus contingencias, a pesar de que solamente se juega en un tablero de 64 casillas y 32 piezas al comienzo de la partida. El número de combinaciones posibles da una cifra de 10 elevado a la 123, lo que se ha dado en llamar el número de Shannon.

El arte es considerado como un conjunto de procedimientos para producir ciertos resultados, en general la belleza (en contraste a la ciencia, considerada puro conocimiento) independiente de toda aplicación y también considerada como potencia creadora. La habilidad y destreza de los jugadores puede interpretarse como una obra humana que se expresa simbólicamente mediante diferentes materias, desde el punto de vista de la realidad estética. El Ajedrez es considerado como un arte en la medida que la personalidad, el talento y la inspiración, son empleadas en gran medida para el logro de objetivos tanto tácticos como estratégicos. En otras palabras, el Ajedrez se basa en la belleza de combinaciones, ataques, finales precisos, y jugadas inverosímiles. En el Ajedrez, se presenta una lucha de ideas algunas preconcebidas otras emergidas de la misma intuición, pero sobre todo en cada jugada se manifiesta una verdadera obra de arte al ingenio humano.

En cuanto al Ajedrez como deporte, se puede decir que es una disciplina debido a que pone a prueba la agilidad, destreza, capacidad motora, no solo del cuerpo sino de la mente. Para ello, se debe tener una excelente condición física para soportar torneos de alto rendimiento. Cuando se compite deportivamente en el Ajedrez, se gasta más energía que en el resto de los deportes comunes. Incluso se ha llegado a afirmar que una partida bien desarrollada con una duración de 6 horas produce un desgaste físico de tal magnitud que se compara con haber jugado dos partidos de futbol completos. Basados en la competición, el Ajedrez es la lucha directa entre dos oponentes con mentalidades y voluntades distintas, en él no influyen la suerte ni las condiciones meteorológicas o incluso los arbitrajes, todo dependerá de las decisiones que tome el competidor, el cual es el único responsable de su resultado final. En 1924, la Federación Internacional de Ajedrez (FIDE), elaboró una serie de reglas fijas y se comenzaron a realizar competiciones nacionales e internacionales, y desde entonces se le ha considerado como un deporte.

El ajedrez como deporte, permite forjar el carácter y la personalidad en los jugadores, en cuanto a que deben acostumbrarse a asumir la victoria o la derrota. El rol socializador del Ajedrez permite el encuentro de diversas realidades y estamentos sociales. En el Ajedrez se ha demostrado, que el sistema nervioso y el sistema cardiovascular sufren un alto desgaste en los torneos de élite, siendo los signos más notorios la amplia pérdida de peso de los jugadores, lo que indica que deben tener un régimen especial para su acondicionamiento físico, acompañado de una buena nutrición y relajación mental. En la actualidad el Ajedrez no está incluido en los torneos olímpicos, pues el Comité Olímpico Internacional (COI) no lo considera un deporte.

## **2.10. La Práctica del Ajedrez**

Cabría preguntarse ¿Qué evidencias existen sobre el aprendizaje del ajedrez y el rendimiento académico en los estudiantes? Se puede indicar que en una partida de Ajedrez discurre una forma de conocimiento organizado que se asemeja al conocimiento científico, ya que el jugador observa, compara, clasifica, organiza ideas e hipotetiza aquello que analiza, ensaya, sintetiza y ejecuta. La práctica sistemática del Ajedrez estimula el desarrollo de habilidades y procesos básicos del pensamiento, tales como: atención, expresión numérica y verbal, autoestima, análisis, síntesis, inteligencia cognitiva-emocional y creatividad.

El 1960, el psicólogo Alan de Goot realizó un estudio en la antigua Unión Soviética (URSS), entre dos grupos de niños y adolescentes de diferentes edades. Las características comunes es que todos poseían un cociente intelectual similar y ninguno sabía jugar Ajedrez. Pero a un grupo le enseñaron el juego y a otro no. después de un año observó que al grupo que se le enseñó a jugar Ajedrez tuvo un adelanto extraordinario en el uso racional de la lógica, la capacidad de concentración, el desarrollo de la memoria, la capacidad de análisis, la disciplina mental y la madurez emocional, entre otras habilidades. Así fue como se estableció el Ajedrez como materia obligatoria en ese país, y su ejemplo fue seguido por más de 30 países en el mundo.

En cuanto a la enseñanza de la física y la matemática, ofrece muchas posibilidades para comprender las relaciones que existen entre los conceptos científicos y la aprehensión de fórmulas. A continuación, se presentan algunos beneficios cuando se practica el Ajedrez:

1. **De Orden Educativo:** Aunque el Ajedrez no es una estrategia didáctica formal para la enseñanza de las ciencias naturales ni sociales, sirve para crear hábitos de estudio, genera una actitud proactiva hacia el contenido curricular y fomenta el deseo de superación mediante el conocimiento.
2. **De Orden Lógico:** El razonamiento lógico es inherente al quehacer ajedrecístico y de ese razonamiento se desprenden métodos basados en la analogía, relación causal, comparación, clasificación. Es por ello que el jugador debe tomar decisiones previas a una concienzuda reflexión sobre el siguiente paso que va a ejecutar.
3. **De Orden Sociológico:** en este caso el ajedrecista fortalece las relaciones de grupo, también permite el cumplimiento de normas en correspondencia a la espontaneidad del juego. Demuestra valores y conductas cónsonas a la cultura y la sociedad a la cual pertenece.
4. **De Orden Político:** el Ajedrez puede equipararse con la política, en el sentido de la planificación y ejecución dentro de lo real. Asimismo, la actitud centrada en la norma de juego permitirá ser transferida a otros sectores en las relaciones sociales, dentro de un estado de derecho no impositivo, ya que todos aceptan las reglas de juego. En el Ajedrez las tendencias agresivas son interpretadas a la luz de canalizar el esfuerzo para lograr la victoria sobre el oponente que están a la par en cuanto a oportunidades y condiciones.

En síntesis, de todo lo plasmado con anterioridad Ceballos y Morfe (2015) sostienen que el ajedrez mejora la creatividad, el éxito académico, la resolución de problemas; de igual manera, ayuda al enriquecimiento cultural, ya que su enseñanza metodológica incrementa el coeficiente intelectual en los niños y adolescentes de cualquier nivel socioeconómico. Impone al estudiante una disciplina atractiva y agradable. Cada jugador descubre su capacidad para resolver autónomamente una determinada situación en el tablero, adquiere un proceso de confianza en sus propias fuerzas.

Lo ayuda a asumir actitudes propias y lo estimula sobremanera para otras tentativas. Enseña a controlar los impulsos, a no tomar decisiones apresuradas, a pensar antes de hacer las actuar irracionalmente. El ajedrez temple el espíritu, hace que el jugador llegue a entender que su trabajo es

productivo aun cuando pierda. Le ayuda a entender los conceptos de voluntad y constancia. La competencia del juego se convierte en algo positivo, en un afán de superación personal.

## **2.11. Lecciones de Ajedrez elemental por Vacili Panov (1971)**

### *¿Qué es el ajedrez?*

Inventado hace unos 1.500 años, este juego se llamó al principio CHATURANGA, que significa formado de cuatro partes a modo de la formación del ejército indio antiguo: carros de guerra, infantería, caballería y elefantes. Se jugaba entre cuatro personas. Transcurridos unos siglos, se propagó en Asia Central. Los árabes lo llamaron SCHATRANDESCH, lo enriquecieron de nuevas reglas y lo jugaron entre dos personas. A fines de la Edad Media era ya muy conocido en Europa y en Rusia, y se llamó SHAHMAT, nombre compuesto de la palabra persa SHAH (rey) y de la árabe MÁTÁ (muerto). Lo cual puede traducirse por «muerte del rey contrario. Cada rey dispone de un pequeño ejército de piezas y peones correspondientes a su color, y que el ajedrecista llama simplemente blancas y negras.

El campo de batalla es un tablero de madera o cartón, dividido en sesenta y cuatro casillas o escaques blancos y negros. De unas casillas a otras, manos expertas o inexpertas mueven las piezas y los peones según ciertas reglas, de las que se hablará más adelante. Los dos participantes se sientan al tablero de modo que la casilla blanca de la esquina esté a su derecha. La potencia de las piezas y de los peones depende de cómo y a dónde puedan marchar por el tablero; el rey es inferior en movilidad a todos ellos. Sin embargo, en cuanto perece, es decir, se le da mate, la contienda ha finalizado. Esto significa que es la pieza más importante, aun cuando depende de las otras, que lo defienden de los ataques adversarios. En ello consiste la idea del ajedrez.

Una tradición nos dice que cierto soberano indio tiranizaba cruelmente a su pueblo, y un sabio brahmán inventó el CHATURANGA con el fin de enseñarle a tratar debidamente a sus súbditos. En este juego, como en el ajedrez, el rey nada podía hacer sin la ayuda de las otras piezas, no obstante ser la pieza principal. Sorprendido por la ingeniosidad del CHATURANGA, el soberano dio palabra al brahmán de no tiranizar más a su pueblo y se comprometió a concederle lo que pidiese, y éste, queriendo darle una nueva lección, pidió que le recompensase con la cantidad de trigo que resultara

de poner un grano en la primera casilla, dos en la segunda, cuatro en la tercera, ocho en la cuarta y así sucesivamente siempre doblando la cantidad.

El soberano, estimando que el tablero tenía sesenta y cuatro casillas y que la recompensa no montaría un saco de trigo, le concedió la petición que tan modesta parecía a primera vista. Pero, después de haber hecho los cálculos, resultó que todo el trigo de la India no era suficiente para recompensar al brahmán. Pues se necesitaban nada menos que 183.446.7442.073.7091.551.615 granos. Para producir tal cantidad de trigo, habría que sembrar setenta y siete veces todos los continentes de la tierra. A continuación, describiremos el ejército de que dispone el rey:

### **La Dama**

Es la pieza más potente. No es claro el origen de su nombre. Al principio, se creyó que procedía de la palabra persa FARZIN (visir o ministro de un soberano musulmán); pero se supone que deriva de la árabe AL-FIRZAN (sabio). Los franceses y alemanes la llaman dama y los ingleses, reina. Nosotros la llamamos dama, aunque antiguamente se llamó reina entre nosotros y aún hoy muchos la llaman así.

#### ***Movimiento de la dama:***

Esta pieza reúne los movimientos de la torre y del alfil; se mueve por la horizontal, vertical y diagonal, recorriendo un número de casillas ilimitado en cada jugada. Es la pieza de mayor movilidad y, por lo mismo, la más potente.

### **La Torre**

Sigue en potencia a la dama. Cada oponente tiene dos torres. En francés, español y alemán se llama torre. En Rusia, muchos le dan este nombre; pero deben llamarla LADIA (barca de vela y también torre en el ajedrez).

#### ***Movimiento de la torre***

Esta pieza se mueve horizontal y verticalmente y recorre un número indefinido de casillas en una jugada, si no se lo impiden otras piezas o peones.

## **El Caballo**

El movimiento de esta pieza se parece al del saltamontes. Los hindúes y musulmanes lo llaman jinete; los franceses e ingleses, caballero, y los alemanes, corcel. Cada adversario dispone de dos caballos.

### ***Movimiento del caballo***

Su modo de marchar recuerda la forma de la escarpia; salta de dos en dos casillas y se sitúa siempre en una de color distinto del de la que ha abandonado. El movimiento del caballo goza de la particularidad de que no es detenido por las piezas que encuentra en su marcha y puede saltar por encima de las propias y adversarias.

## **El Alfil**

Ha recibido nombres distintos. Los musulmanes lo llamaron FIL (elefante); los ingleses lo llaman BISHAP (obispo); los franceses, FOU (bufón), y los alemanes, LIIUFER (corredor). Cada oponente tiene dos alfiles.

### ***Movimiento del alfil***

Esta pieza marcha por las diagonales y toma las piezas y peones adversarios en cualquier casilla de ellas. De un movimiento puede recorrer varias casillas. Se llama alfil de casillas blancas o de negras si se mueve por las primeras o por las segundas. Y se llaman alfiles de distinto color cuando cada uno de los oponentes se queda con un alfil de color de casillas diferentes del que tiene su adversario.

## **El Peón**

Cada bando tiene ocho peones. Su denominación deriva del vocablo peonaje o conjunto de soldados de a pie. Lo más interesante es que un peón puede, si las circunstancias le son favorables, llegar a dama en el transcurso de la partida. Este hecho muestra una vez más la sabiduría del inventor

de este juego; con ello, demostró que la persona de condición más modesta también podía llegar a gran visir. Lo cual quizás motivó que Napoleón, gran aficionado al ajedrez, dijese: “El bastón de mariscal está en la mochila de todo soldado”.

### ***Movimiento de los peones***

El peón es la pieza menos potente; avanza sólo una casilla, excepto en su movimiento inicial en el que puede avanzar dos si se cree conveniente.

### **Movimiento del Rey**

Esta pieza marcha de casilla en casilla y en todas direcciones y come las piezas y los peones contrarios que se encuentran en los escaques contiguos al que él ocupa. La importante particularidad de su movimiento, comparado con el de las otras piezas, se reduce a no poder ocupar una casilla batida por el adversario. Esta limitación entraña otra: “El rey no puede tomar una pieza contraria si está defendida por otra, porque ésta le dará mate”.

El objeto del ajedrez es dar mate al rey del adversario. Este lance pone término a la partida y se proclama vencedor el que lo ha dado. Suele ocurrir que uno de los contendientes se rinde al no tener probabilidades de defender a su rey. Si ninguno de los dos bandos puede dar mate al rey del otro, la partida finaliza en tablas o empate. Las blancas juegan primero, y su posesión se obtiene por sorteo. Para ello, se coge un peón blanco con una mano y uno negro con la otra, se cierran las dos manos y se ofrecen al oponente para que elija. En las partidas siguientes, las blancas se juegan alternativamente. Al primer movimiento de las blancas sigue el primero de las negras, y así sucesivamente hasta finalizar la partida.

Cada movimiento de las blancas y de las negras lleva un número, mediante el cual se anota la partida. En cada jugada se puede mover sólo una pieza o peón, excepto la del enroque en el que se muda de lugar al rey al mismo tiempo que la torre. Ninguna pieza ni ningún peón pueden avanzar o retroceder por encima de otros, sean propios o contrarios, salvo el caballo. En toda casilla o escaque no se puede situar más de una pieza, que “come o toma” a todo adversario, aunque no es obligatorio hacerlo para lo cual se quita la pieza contraria y se coloca la propia en el sitio de ella.



En síntesis, de todo lo plasmado con anterioridad Ceballos y Morfe (2015) sostienen que el ajedrez mejora la creatividad, el éxito académico, la resolución de problemas; de igual manera, ayuda al enriquecimiento cultural, ya que su enseñanza metodológica incrementa el coeficiente intelectual en los niños y adolescentes de cualquier nivel socioeconómico. Impone al estudiante una disciplina atractiva y agradable.

Cada jugador descubre su capacidad para resolver autónomamente una determinada situación en el tablero, adquiere un proceso de confianza en sus propias fuerzas. Lo ayuda a asumir actitudes propias y lo estimula sobremanera para otras tentativas. Enseña a controlar los impulsos, a no tomar decisiones apresuradas, a pensar antes de hacer las actuar irracionalmente. El ajedrez temple el espíritu, hace que el jugador llegue a entender que su trabajo es productivo aun cuando pierda. Le ayuda a entender los conceptos de voluntad y constancia. La competencia del juego se convierte en algo positivo, en un afán de superación y crecimiento personal.

Por todo lo descrito en este capítulo, el éter, en su recorrido histórico no se logró definir en términos materiales; sin embargo, permitió dar cuenta del campo eléctrico y magnético, las líneas de fuerza que interactúan en el medio, y avanzar en lo que hoy se conoce como electrodinámica y la inducción entre otros avances del magnetismo y la electricidad. Cada experimento que realizaron los científicos en la era moderna (Newton, Faraday, Maxwell, Hertz, Lorentz, Einstein, entre otros) permitió conocer las inquietudes de estos exponentes al momento de plantear sus explicaciones a las problemáticas planteadas entorno al concepto de campo, lo cual posteriormente se enunciaría como un postulado o una teoría. Es por ello que, si se quiere hablar del campo eléctrico, primeramente hay que hablar del Éter, pues podría decirse que fue una primera aproximación a dicho concepto en el área de la física, por lo que se puede adecuar dicha conceptualización en los docentes quienes serán los responsables directos de enseñarlo a los estudiantes de educación básica y media, correspondiendo a los cuestionamientos de los autores antes aludidos y generando su propias reflexiones hacia una didáctica eficaz de las ciencias fácticas, las cuales encuentran mayor versatilidad en las estrategias lúdicas, como es el caso del ajedrez y el movimiento de sus piezas, proporcionando de esa manera una fuente inagotable de creatividad, fluidez del pensamiento lógico-matemático y mayor capacidad de abstracción y de relación entre lo teórico y conceptual.

## CAPITULO III

### CONTEXTO METODOLÓGICO

#### 3.1. Paradigma de la Investigación

La investigación se circunscribió al paradigma post-positivista o interpretativo, que en términos de Blasco y Pérez (2003), consiste en: “La construcción de informes interpretativos que perciban la esencia de los acontecimientos que se suceden en el contexto de la investigación, así como el significado que tienen para los sujetos involucrados”. (p.22). Este paradigma interpretativo, permitió adentrarse en el mundo lúdico-estratégico del Ajedrez y mediante sus movimientos específicos poder dar cuenta de la comprensión del concepto de campo eléctrico desde la didáctica o enseñanza de la física. En tal sentido, el concepto de campo tuvo una evolución importante desde sus principales ideas germinales con el Éter aristotélico hasta llegar a la designación del campo mediante un proceso riguroso de observación y experimentación que llevó a autores como Descartes, Newton, Huygens, Young, Faraday, Maxwell, Hertz, Lorentz, Einstein, entre muchos otros al desarrollo amplio de la física y su cuerpo teórico-conceptual.

#### 3.2. Tipo y Diseño de la Investigación

El tipo de investigación estuvo orientado hacia lo cualitativo, dado que se pretende comprender el concepto de campo eléctrico empleando como propuesta didáctica el movimiento de las fichas de ajedrez. En tal sentido, Martínez (2006) afirma que: “toda investigación cualitativa trata de identificar, básicamente la naturaleza profunda de las realidades, su estructura dinámica, aquella que da razón plena de su comportamiento y manifestaciones” (p.66).

En cuanto al diseño de investigación, responde a una investigación documental en atención a los principios de la Hermenéutica, lo cual permitió realizar un arqueo heurístico sobre la base de fuentes primarias en dos categorías específicas: 1. Evolución histórica de la idea del Éter hasta el concepto de campo eléctrico; 2. La práctica del ajedrez en el contexto educativo y su importancia en el aprendizaje significativo de las ciencias naturales, específicamente del cuerpo teórico-conceptual de la matemática y la física principalmente.

Para Suarez (2007), la investigación documental es una investigación científica. Es aquella búsqueda e indagación que se basa en la localización, registro, recuperación, análisis e interpretación de fuentes bibliográficas, hemerográficas, así como fuentes primarias o inéditas. La importancia de este tipo de investigación reside, entre otras cosas, en que se convierte en el primer paso que obligatoriamente debería dar todo investigador que se inicie en el quehacer científico. La investigación documental por tanto representa una guía básica para la orientación de todo proceso formativo en la investigación científica.

Cabe destacar, que cualquier investigación científica con pretensiones de llegar al nivel de generalización o teorización necesariamente tiene que partir de un soporte documental que permita ubicar al investigador en el área o disciplina científica, y que le aporte las pautas o lineamientos básicos que más adelante profundizará, mediante la comprobación y verificación en un nivel más avanzado de la investigación como podría ser el experimental. La investigación documental puede llegar a valiosas propuestas teóricas y presentar conclusiones científicas en la medida en que el proceso lleve al esclarecimiento de hechos que, aunque no pasan por la fase de campo, pudieran ser objeto de un riguroso análisis que vaya más allá del ejercicio intelectual de recopilar y ordenar datos. Se pueden abordar conceptos, definiciones y postulados que sirvan de base a nuevas propuestas de trabajo y en el contexto pedagógico-educativo generar divergentes perspectivas didácticas para ser llevadas al estudiantado en su hábitat social: el aula de clases.

Sobre la hermenéutica se puede decir que comparte con la fenomenología el carácter derivado de las significaciones del orden lingüístico. Se afirma el carácter derivado y segundo de la problemática del lenguaje. Este reenvío del orden lingüístico a la estructura de la experiencia constituye la más importante presuposición fenomenológica de la hermenéutica. Domingo (2001). La Hermenéutica desentrama al sujeto en el mundo. Ese sujeto es sujeto de experiencia; y ese mundo en el que cada sujeto participa es traspolado al lenguaje; es decir, se hace lenguaje. De allí que la multiplicidad de lenguajes sea indicativa de la multiplicidad de experiencias, de la amplitud del mundo real, y como no se impone fronteras a la experiencia del mundo de la vida, no se puede imponer tampoco límites al sujeto que de ella surge. Los aspectos interpretados en el proceso investigativo tienen que ver con los basamentos teóricos referenciales sobre el concepto de campo eléctrico en física y la práctica del ajedrez como estrategia lúdico-didáctica en el contexto educativo, donde los estudiantes de educación media pueden relacionar lo conceptual con lo lúdico.

### 3.3. Técnica de Recolección de Datos

Por ser una investigación documental, se recurrió a un arqueo heurístico sistemático de diferentes fuentes primarias de información, devenidas de monografías, trabajos de grado en el área de enseñanza de la física, trabajos de maestría, tesis doctorales y notas de artículos científicos que abordaron las ecuaciones de Maxwell, el concepto de campo y su evolución histórica hasta el siglo XX, el ajedrez como estrategia lúdica para la enseñanza de la matemáticas y el desarrollo de los procesos básicos del pensamiento. Aunado a lo anterior, las fuentes documentales, se organizaron desde un aparato crítico, el cual es considerado por Suárez (2007) como un conjunto de notas y citas presentes en el trabajo escrito. A continuación, se expone la estructura del aparato crítico empleado:

- 1) Notas textuales: fueron aquellas que se emplearon dentro del texto del trabajo, provenientes de ideas, o planteamientos de diversos autores.
- 2) Notas de Contenido: son aquellos comentarios, aclaratorias, explicaciones y paráfrasis que se emplearon en el trabajo.
- 3) Notas de Referencia: permitió remitir al investigador a las diferentes fuentes de referencia relacionados con el tema tratado, en este caso los aspectos referenciales del estudio están plasmados en los antecedentes investigativos.

### 3.4. Técnicas de Análisis de Datos

El análisis de los datos provenientes de fuentes primarias (trabajos de pregrado, maestría, doctorado, monografías, ensayos y artículos científicos), se realizó mediante la agrupación de dos grandes categorías teóricas por asociación del contenido bibliográfico desarrollado en la investigación, estas son: concepto de campo eléctrico en física desde su origen histórico y la práctica del ajedrez como estrategia lúdico-didáctica. Para Martínez, (2004), una categoría, consiste en una idea central de cada unidad temática. Según esto, las categorías implican un proceso cognoscitivo que induce la reagrupación en una misma clase de términos o expresiones.

### **3.5. Confirmabilidad de la Información**

Para Noreña y otros (2012), la confirmabilidad de la información consiste en que los hallazgos de la investigación deben garantizar la veracidad de las fuentes primarias de información, en este caso no hay informantes clave como docentes, estudiantes, padres o representantes; no obstante, se recurrió a la producción intelectual y científica de diversos teóricos y autores que han realizados estudios empíricos y documentales sobre el desarrollo del concepto del campo, y el estudio del ajedrez como estrategia cognitiva en el rendimiento académico de los estudiantes en áreas como la matemática y la física. De igual manera, otros investigadores (agentes externos) pueden corroborar las conclusiones del estudio de acuerdo con la coherencia, rigurosidad técnica y sistematización presentada.

Asimismo, en el despliegue de las concepciones investigativas que configuró el investigador como derivados del proceso consultivo o de interacción teórica con fuentes bibliográficas diversas, permitió legitimar los procedimientos empleados para la sistematización de la información, connotando aquellos aspectos significativos que subyacen en la enseñanza del concepto de campo eléctrico en la asignatura física, análoga al ajedrez como propuesta didáctica.

## CAPITULO IV

### CONTEXTO ANALÍTICO

#### 4.1. Procesamiento Heurístico de la Información

En el presente trabajo documental, cuyo objetivo central es generar una propuesta didáctica basada en el movimiento de las fichas de Ajedrez para la comprensión del concepto de campo eléctrico en los estudiantes de educación media y básica, emergieron dos categorías de análisis fundamentadas en la interpretación de diversas fuentes primarias, tales como: 1. concepto de campo eléctrico en física desde su idea primigenia o germinal conocida como Éter y 2. La práctica del ajedrez como elemento constitutivo de lo lúdico-didáctico en el contexto instruccional formal de educación básica y media.

En cuanto al concepto de campo eléctrico, el mismo esta precedido por la idea de Éter, teniendo una gran difusión desde Aristóteles hasta llegar a la formalidad del concepto de campo en Faraday, Maxwell, Lorentz y Einstein. Sobre el concepto de Éter se erigieron diversos modelos explicativos de acuerdo con el aporte que iba realizando cada teórico, pues la teoría capturaba y sintetizaba con un orden lógico la esencia demostrativa del fenómeno experimentado, suficiente para explicar la naturaleza material del mundo físico macro (astronomía) y micro (mundo de las partículas). Para la demostración de los fenómenos físicos fue imprescindible recurrir a la observación constante, a la demostración matemática para que no existiera duda de que lo planteado era real; pero, por sobre todas las cosas a la experimentación asidua en función de buscar coherencia y consistencia en los hallazgos, eliminando todo vestigio de azar e incluso cualquier sortilegio y al mismo tiempo blindar los postulados con un lenguaje univoco (físico-matemático) sin sesgo alguno, que le diera el talante de científico. Todo esto denota un marco teórico referencial para explicar el concepto de campo eléctrico desde su fase de observación-experimentación hasta sus postulados en lenguaje matemático.

Entre 1800 y 1900 se dio un giro en el pensamiento científico, que permitió avanzar en el ámbito investigativo, a pesar de existir diversas perspectivas científicas sobre un mismo fenómeno que exponía el comportamiento de la luz, cada autor expuso su propio criterio de veracidad y éste estaba enfocado en el experimento crucial que desmontaría concepciones erróneas. Es pues desde el concepto de Éter donde comienza la carrera por la conquista del concepto del campo eléctrico y

magnético, pues allí en ese medio no solo se propagarían las ondas, sino el medio por el cual los corpúsculos podían viajar. De una manera muy didáctica Gómez y González (2012), expresan que: “*el campo magnético es un efecto relativista del campo eléctrico*” (p. 128); pero argumentan que, no es que uno de los dos sea el campo de verdad y el otro una consecuencia relativista. Se parte del hecho, que hay un solo campo electromagnético, y dependiendo de cómo nos movamos respecto a los objetos lo notamos y lo llamamos campo eléctrico o campo magnético, y sus efectos son idénticos tanto en un caso como en otro cuando se aplica la relatividad.

En otras palabras, los campos eléctrico y magnético están tan entrelazados entre sí que no resultan ser más que aspectos de una misma realidad física. Ésa es la auténtica revelación que supone mirar las ecuaciones de Maxwell a través de la lente relativista de Einstein. Las cuatro ecuaciones elaboradas y codificadas por Maxwell en colaboración con otros y junto a la ley de Lorentz, rigen casi todo el universo físico, así como por ejemplo la luz que se proyecta en una habitación, los impulsos eléctricos en el cerebro de cada quien cuando piensa o imagina algo, la computadora portátil con la que se trabaja a diario e incluso las interacciones bioquímicas presentes en el organismo humano. (Ramos, 2016)

En el proceso evolutivo del concepto de campo eléctrico, el Éter desempeñó un papel primordial, pues se pretendía mostrar de forma general como un concepto sólido previo a la formalización del concepto de campo eléctrico. También cabe destacar, que saltó a la palestra el espacio como un tema crucial, ya que algunos teóricos o pensadores daban por sentado la existencia de un espacio vacío, mientras que otros lo consideraban inadmisibles. Quienes sostenían que el vacío no es vacío salía como única explicación el Éter (sustancia con características inicialmente mecánicas), mientras que la acción a distancia es un concepto que aun en la actualidad utilizan algunos docentes de física para hablar de interacción. (Ramos, 2016; p. 69).

En este orden de ideas, la incógnita sobre la velocidad de la luz se trató de despejar inicialmente por medio de experimentos, y fueron reveladores los esfuerzos de Faraday, Maxwell, Lorentz y Einstein a fin de ver el mundo de manera no mecanicista. De todos ellos Maxwell fue la excepción porque no pensó ir en contra de las leyes de Newton, sino que más bien planteó una manera disímil de ver el mecanicismo newtoniano, o la existencia de otros tipos de mecanicismos.

Cuando se estudió la composición de la luz y por qué funciona de determinada manera, algunas teorías involucraron la existencia del Éter, otras definieron un medio con ciertas características pero sin el nombre de Éter, otras simplemente le llamaron vacío, pero independientemente de las características, elásticas, sutiles y ligeras que le dieron, lo único previsible era que existía algo que le permitía a la luz propagarse por el espacio, y si la luz se concibe como onda o como partícula, éstas dos perspectivas necesitaban un medio para desplazarse; desde ese entonces, se dejó la búsqueda de esas características mecánicas, precisamente porque se abandonaron las leyes mecanicistas establecidas por Isaac Newton.

Lo anterior quiere significar que, lo que se llama campo eléctrico o magnético fue denominado en algún momento Éter, aunque ningún teórico lo haya expuesto abiertamente. Asimismo, es posible deducir que las características de ese Éter o el medio en el que se propaga la luz, o bien el vacío son las mismas que hasta el mismo Einstein en 1920 menciona como espacio-tiempo. Toda esta configuración conceptual permitió dar cuenta del campo eléctrico y magnético, las líneas de fuerza que interactúan en el medio, y avanzar en lo que hoy día se conoce de la electrodinámica, la inducción entre otros avances del magnetismo y la electricidad. Cada experimento realizado, mostró el ingenio e imaginación de los autores al plantear sus explicaciones a las diversas problemáticas, lo cual posteriormente se enunciaría como un postulado o una teoría. Los aportes de cada uno de los teóricos mencionados fueron significativos ya que independientemente de la corriente conceptual que siguieron, mostraron un proceso de re-conceptualización dada mediante observaciones y experimentos sobre los fenómenos de la luz, otros mediante esquemas o representaciones mentales y planteamientos imaginarios mediante analogías e hipótesis, lo cual hacía énfasis en la imaginación y el desarrollo del pensamiento lateral o de la creatividad.

En retrospectiva, Faraday para explicar la inducción electromagnética se había valido del concepto de estado electro-tónico generado por un imán o un circuito eléctrico. Al alterar este estado por movimiento relativo respecto a otro circuito adyacente, se producía en este último una circulación de corriente eléctrica. Posteriormente, Maxwell abordó matemáticamente la descripción de este fenómeno, utilizando las novedosas técnicas de cálculo vectorial avanzado. El concepto de vector estaba ya implícito en la mecánica definida por Newton a finales del siglo XVII. Las operaciones vectoriales (suma y productos escalar y vectorial) se vinieron desarrollando en los siglos posteriores y fueron finalmente expuestas en 1844 por el alemán Grassmann. Los últimos avances en la materia se



habían desarrollado aplicando geometría diferencial gracias a dos profesores: George Stokes y William Thompson. Todo el desarrollo posterior del cálculo vectorial tuvo una relación íntima con la idea o concepto de campo electromagnético. Teniendo en cuenta las leyes conocidas que relacionaban electricidad y magnetismo, Maxwell estudió qué pasaría en una pequeña porción del espacio, utilizando para ello el cálculo vectorial, obteniendo de esta manera una magnitud vectorial que describía perfectamente el estado electro-tónico de Faraday. Si tenía un valor constante no tenía efecto alguno, pero su variación implicaba la aparición de fuerzas eléctricas y magnéticas. La notación que utilizó dista un poco de la actual ya que para cada magnitud vectorial escribía las tres ecuaciones de los componentes en los ejes espaciales.

Las leyes de Maxwell en compañía de las leyes de la Termodinámica, las leyes de Newton y las leyes de Kepler son consideradas Leyes Universales. Las leyes de Maxwell obedecen a los principios de la homogeneidad del espacio y del tiempo, de la constancia de la velocidad de la luz y del principio de la relatividad. Por lo tanto es invariante en su forma para cualquier sistema de referencia, incluso, aunque no sea inercial. Los sistemas de referencia son formas de abordar el problema, pero no se convierten en condiciones necesarias o suficientes para garantizar el cumplimiento de las leyes universales de la Física. (Restrepo, 2011).

Desde la didáctica del concepto de campo eléctrico es importante señalar que a partir de su génesis histórica, el contexto y las distintas fases de experimentación, es factible encauzar un óptimo aprendizaje en los estudiantes de educación media y básica, sobre todo una reflexión por parte de ellos frente a la enseñanza de la física y su cuerpo conceptual en pro de comprender a posteriori sus firmes avances en el mundo científico y cotidiano, y en éste último dilucidar un mayor conocimiento que pueda mejorar la calidad de vida de las personas, y por ende de la sociedad.

Asimismo, los obstáculos epistemológicos que tienen los estudiantes al momento de comprender el concepto de campo eléctrico en física, son superados cuando se aplican estrategias didácticas constructivas y lúdicas en el caso que compete a la investigación el Ajedrez y el movimiento de sus fichas. En contraste la ausencia de estrategias didácticas novedosas genera dificultades de aprendizaje en cuanto a aceptar la existencia de un campo eléctrico en un medio donde las cargas están inmóviles e ignoran las fuentes de campo no representadas explícitamente en forma matemática. De igual manera, a los estudiantes se les dificulta establecer diferencias conceptuales

entre fuerza y campo eléctrico y se destaca, además, que la introducción del concepto de campo a partir de su definición operacional afecta directamente su comprensión, haciendo notorios problemas de aprendizaje sobre la mecánica. (Ortiz, Canera, Ruiz y López, 2017; Lozano, 2016; Quintero y Torres, 2016; Prada Coronado, 2015).

En cuanto a la práctica del ajedrez como propuesta lúdico-didáctica en la enseñanza de las ciencias naturales, principalmente la matemática y la física, la misma orienta y estimula el desarrollo de habilidades cognitivas, la creatividad y a su vez desarrolla el pensamiento del estudiante como ser integral y social, propicia los valores tales como la tolerancia, el amor y el respeto hacia el otro, e impone una disciplina atractiva y agradable. Por tal motivo, el estudiante descubre su capacidad para resolver por sí mismo una determinada situación en el tablero, y adquiere además confianza en sus propias fuerzas y habilidades.

El ajedrez facilita la formación de actitudes positivas, mejora la autoestima, ejercita la habilidad para la gestión del tiempo y ayuda a la atención de los estudiantes en las aulas de clase. Sobre el razonamiento lógico, el Ajedrez y su constante estrategia desarrollan métodos basados en la analogía, relación causal, comparación, clasificación. Es por ello que el jugador debe tomar decisiones previas a una concienzuda reflexión sobre el siguiente paso que va a ejecutar.

Las estrategias didácticas basadas en lo lúdico-didáctico del ajedrez ofrecen al estudiantado de educación media y básica, el desarrollo de competencias pedagógicas fundamentales como: relacionar, comparar, abstraer, ordenar conceptos entrelazados; de igual forma, los procedimientos que tienen una base conceptual como es el caso del concepto de campo eléctrico, si el estudiante logra crear una representación mental de tal concepto, entonces aprenderá a tomar decisiones para resolver exitosamente diferentes problemas de manera lógica y desarrollará una actitud activa hacia el trabajo de la matemática y la física, en la aprehensión de sus contenidos conceptuales.

El ajedrez y su versatilidad ludo-estratégica, también ofrece mayor interacción docente-estudiante en el aula de clases, porque las experiencias de investigaciones como las de Fernández Amigo, 2008; Ceballos y Morffe, 2015, evidencian un mayor desarrollo de los procesos básicos del pensamiento como pensar, interpretar, establecer analogías, semejanzas y diferencias, agilidad mental para resolver cálculos matemáticos, entre otros y cuando se vincula a aspectos teóricos como el concepto de campo eléctrico en física permite a los estudiantes establecer mayor disposición al

aprendizaje individual, interacción social en cuanto a participación motivacional y mejor capacidad de abstracción en sus representaciones mentales.

Los estudiantes encuentran en las estrategias lúdicas como el ajedrez y su vinculación con la enseñanza del concepto de campo eléctrico en física mayor satisfacción y disposición al aprendizaje de contenidos abstractos. En cuanto a los docentes en el área de ciencias naturales en especial la física y la matemática, el Ajedrez es catalogado como una estrategia innovadora, creativa, asequible a todos los estudiantes de educación media y básica, divertida y fuente motivacional de aprendizaje. De igual forma, el ajedrez representa un material didáctico de uso práctico y cooperativo entre todos los entes involucrados, que permite una mayor interactividad, integración e interrelación. El ajedrez ayuda al rendimiento académico en lo concerniente al razonamiento lógico, al cálculo numérico y la agilidad mental para dar respuestas a diversas situaciones conflictivas que se pueden presentar al momento. El recurso del Ajedrez como estrategia lúdico-didáctica permite trabajar otros aspectos en los estudiantes como es la cohesión y fusión grupal; y asimismo, se puede aplicar a estudiantes con dificultades de aprendizaje o cualquier otro compromiso cognitivo.

## CAPITULO V

### CONTEXTO DIDÁCTICO

#### 5.1. Propuesta Didáctica Basada en el movimiento de las fichas de Ajedrez para la Comprensión del concepto de Campo Eléctrico

Atendiendo a los resultados arrojados después del análisis de contenido de tipo bibliográfico en la investigación se realiza la propuesta de diseñar una estrategia para abordar el concepto de campo eléctrico que permita reconocer la acción a distancia a partir del movimiento de las fichas de ajedrez. Para comenzar, es importante tener claro que esta propuesta contiene ciertas analogías que nos ayudaran a introducir la idea del concepto de campo eléctrico mediante el tablero y fichas de ajedrez, mas no por medio del juego precisamente, es decir, para poder dar esta idea de enseñanza, no debe perderse la rigurosidad del juego y sus reglas de movimiento, pues es precisamente allí en donde se introducirá la perspectiva del campo eléctrico en relación con el movimiento de las fichas del ajedrez.

#### 5.2. Caracterización

Es necesario tener en cuenta la representación y composición de la totalidad del juego, para esto es necesaria la claridad tanto en los movimientos de las fichas como en los nombres de los conjuntos de cuadros que formen hileras, filas, columnas y diagonales, entre otras.

##### *Tablero de ajedrez*

El tablero de ajedrez se compone de sesenta y cuatro casillas iguales dispuestas en ocho filas y ocho columnas. Las casillas se alternan en dos colores, blanco y negro. Se disponen de muchos materiales y diferentes colores para hacer tableros de ajedrez, así que el color más claro se considera como blanco y el más oscuro se considera como negro al igual que las fichas. (KDE Documentación, 2013).

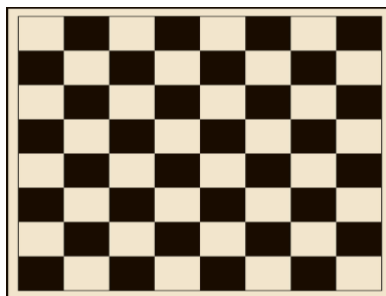


Figura 5. Tablero de ajedrez tradicional.

El tablero de ajedrez se forma con los siguientes nombres especiales para un mejor entendimiento:

Fila: Son las hileras horizontales del tablero de ajedrez, en total hay ocho.

Columna: Son las hileras verticales del tablero de ajedrez, en total hay ocho.

Diagonal: Es una línea recta de casillas del mismo color que discurren de un borde al borde adyacente del tablero, en total existen veintiséis, trece diagonales negras y trece diagonales blancas.

Centro: Son las cuatro casillas situadas en medio del tablero.

### ***Fichas de ajedrez***

El ajedrez tiene seis tipos de piezas: el peón, la torre, el caballo, el alfil, la reina y el rey. Cada pieza tiene su propia y exclusiva forma de moverse. Existen algunas similitudes entre los movimientos de las distintas piezas. Todas las piezas, excepto el caballo, se mueven por filas, por columnas o en diagonales, el sentido y/o dirección depende del color de la ficha que se esté moviendo, pues en el ajedrez, los dos jugadores tienen las mismas fichas, pero de distinto color cada uno (KDE Documentación, 2013).

### ***Peón***

El peón tiene un movimiento inusual, pues normalmente solo se mueve hacia delante una casilla cada vez. Existe una excepción cuando es la primera vez que se mueve un peón, que consiste en que este se puede mover dos casillas hacia delante.



*Figura 6.* Ficha de ajedrez: Peón.

El peón no puede saltar sobre otras piezas, cualquier pieza que esté justo delante de un peón bloquea su avance a esa casilla. El peón es la única pieza que no captura de la misma manera que se mueve, pues este lo hace por diagonales un cuadro cada vez.

### *Alfil*

El alfil se mueve sobre el tablero en una línea recta diagonal. Se puede mover tantas casillas como se quiera, hasta que se encuentre con el final del tablero o con otra pieza. El alfil no puede saltar sobre otras piezas.



*Figura 7.* Ficha de ajedrez: Alfil.

Captura del mismo modo que se desplaza, colocándose en la casilla de la pieza oponente. Debido a la manera en la que se mueve el alfil, la pieza siempre permanece en las casillas del mismo color que su casilla original.

### *Torre*

La torre se mueve en línea recta horizontal o vertical a lo largo de cualquier número de casillas desocupadas, hasta que alcanza el final del tablero o es bloqueado por otra pieza, pues esta no puede saltar sobre otras piezas.



*Figura 8.* Ficha de ajedrez: Torre.

La torre captura de la misma manera en la que se mueve, ocupando la casilla en la que está la pieza oponente. La torre puede colocarse en cualquier casilla del tablero, por tanto, es una de las piezas con mayor número de espacios que puede ocupar.

### *Caballo*

El caballo es la única pieza del ajedrez que puede saltar sobre otras piezas, se mueve dos casillas en dirección horizontal o vertical y después una casilla más en ángulo recto formando una "L". Este siempre cae sobre una casilla del color contrario a la de su casilla inicial.



*Figura 9.* Ficha de ajedrez: Caballo.

El caballo puede saltar sobre piezas de cualquier color mientras se mueve hasta su casilla de destino, pero no captura a ninguna de las piezas sobre las que salte. El caballo realiza la captura colocándose en la casilla de la pieza oponente. Como movimiento del caballo esta dado en línea recta, puede capturar a una reina, un alfil o a una torre sin ser atacado de forma recíproca.

### ***Reina***

La reina se considera como la pieza más poderosa del tablero, puede moverse cualquier número de casillas tanto en línea recta, de manera horizontal como vertical o diagonal.



*Figura 10.* Ficha de ajedrez: Reina.

Esta se mueve como la torre y el alfil juntos, la reina se debe mover a una casilla desocupada y no puede saltar sobre otras piezas, captura de la misma manera en la que se desplaza, colocándose en la casilla de la pieza oponente.

### ***Rey***

El rey tiene poca movilidad, por eso está considerado como una de las piezas más débiles del juego, puede moverse a cualquier casilla adyacente, es decir, se puede mover una casilla en cualquier dirección, bien sea horizontal, vertical o diagonal.



*Figura 11.* Ficha de ajedrez: Rey.

No se puede mover a una casilla ocupada por otra pieza del mismo color, éste captura de la misma manera en que se mueve, colocándose en la casilla de la pieza oponente.

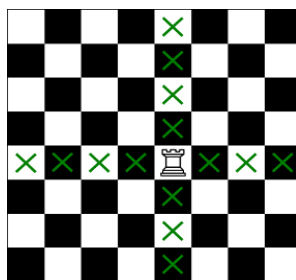
### 5.3. Campos de Acción de las Piezas de Ajedrez

Es importante ahora determinar y sentar una claridad en cuanto a los campos de acción de cada ficha del ajedrez desde una posición determina, mas no por esto necesariamente la forma del campo de acción variará en función de la posición de las fichas. Para una mejor claridad se propone el siguiente ejemplo:

#### *Ejemplo 1*

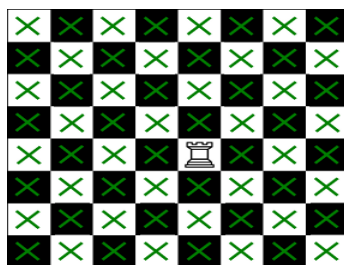
#### *Campo de acción de la torre*

A continuación, se presentan las casillas en filas y columnas, que la torre puede ocupar directamente desde la posición inicial en la que se encuentra (*Fig. 12*).



*Figura 12.* Campo de acción de la torre en el tablero (A)

Una vez señalizadas las casillas que la torre puede ocupar directamente desde la posición en la que se encuentra, se debe tener claro que este será el campo de acción de la ficha, pero este campo para el caso particular de la torre puede ser más grande. A continuación, señalizaremos todos los cuadros que puede ocupar la torre sin importar la manera en cómo esta ficha se mueva.



*Figura 13* Campo de acción de la torre en el tablero (B). Todos los campos que puede ocupar.

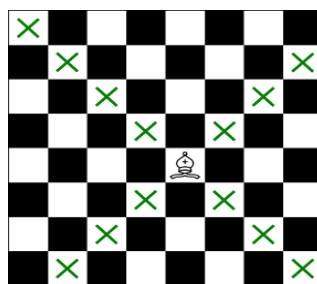


Ahora bien, podremos dar cuenta que la torre es una de las fichas del ajedrez con mayor libertad, es decir, una de las fichas con más posibilidad de ocupar un mayor número de casillas. Esto nos representaría todo el campo de acción de la torre (*Fig. 14*).

### *Ejemplo 2*

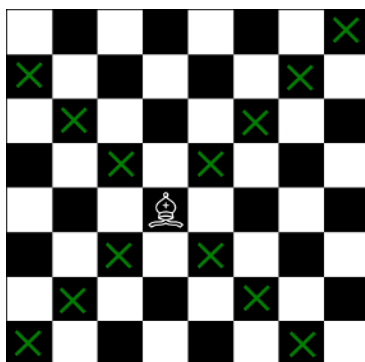
#### *Campo de acción del alfil*

Así mismo como se presentó en el *Ejemplo 1*, ahora señalizaremos las casillas que el alfil tanto negro como blanco, pueden ocupar desde una posición inicial determinada.



*Figura 14.* Campo de acción del alfil blanco en el tablero.

Analizando ambos campos de acción directos, desde las posiciones iniciales de ambas fichas, veremos que el alfil blanco (*Fig. 13*) únicamente podrá desplazarse sobre las casillas blancas y en ese mismo sentido el alfil negro (*Fig. 14*) únicamente podrá desplazarse sobre las casillas negras, y debido a las reglas y normas del juego de ajedrez, estos nunca podrán desplazarse sobre una casilla de color contrario, concluyendo que un alfil negro y un alfil blanco nunca podrán atraparse entre sí.



*Figura 15.* Campo de acción de alfil negro en el tablero

Por otro lado, para mostrar el panorama general de los campos de acción y de todos los espacios posibles que pueden ocupar tanto el alfil blanco como el alfil negro, es necesario realizar una ayuda grafica que reúna ambos campos de acción, de esta manera podremos ver ambos campos de acción superpuestos, pero sin la posibilidad de interactuar entre sí, debido a que por más casillas que recorran, los alfiles nunca van a interactuar. (Fig. 16).

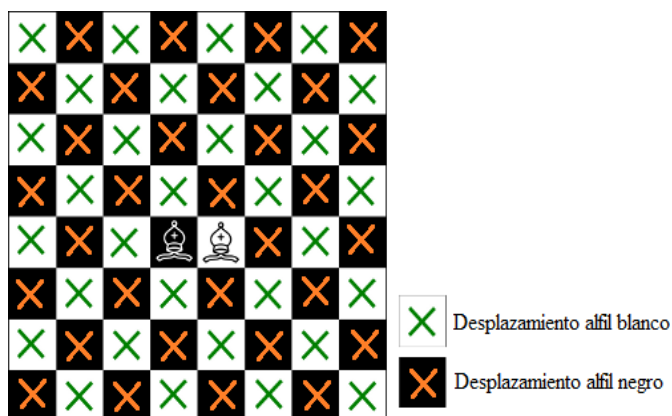


Figura 16. Desplazamiento superpuesto de ambos alfiles.

Ahora bien, es así como establecemos los campos de acción de cada pieza del tablero, bien sea directamente desde una posición inicial o sea el campo de acción completo de la ficha en el tablero.

#### 5.4. Incorporación

Una vez establecidos los parámetros y la normatividad de los movimientos de las fichas y los campos de acción en el tablero, es necesario ahora comenzar a enlazar y articular el concepto de campo eléctrico con las nociones de acción, pero esto se logrará únicamente teniendo claro qué papel juega cada elemento del ajedrez, como herramienta para la incorporación del concepto de campo eléctrico.

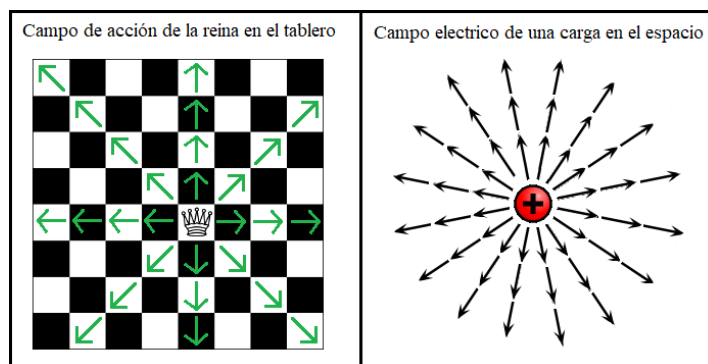
#### *El tablero de ajedrez como espacio en donde ocurren las interacciones*

Anteriormente caracterizamos el tablero de ajedrez como ese espacio en donde las piezas del juego podían desplazarse según su movimiento característico, no podríamos hablar del ajedrez sin su tablero, pues sus características son las que marcan aquel desplazamiento que nos dibuja

un campo de acción. Podríamos decir que el tablero de ajedrez es el mundo en donde las fichas del juego entran a tomar valor, no tanto por su forma sino por la manera en que se desplazan, pues sin el tablero, esto no sé podría. De esta manera es cómo podríamos entrar a utilizar este primer ejercicio del ajedrez inmerso en el concepto de campo, pues sin una carga puntual presente no existe un campo eléctrico presente en el espacio y en ese mismo sentido, si no existe una ficha presente en el tablero de ajedrez, no existe un campo de acción presente en el tablero.

### ***Las fichas del ajedrez como cargas eléctricas puntuales***

Es necesario hacer la explicación grafica para ver esta similitud del campo eléctrico con el campo de acción de una ficha, pero esta vez señalizaremos el campo de acción directo de la ficha con flechas que indiquen las direcciones en las que podría desplazarse esta.

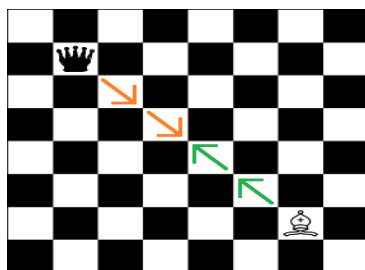


*Figura 17.* Campo de acción de la reina en el tablero y el campo eléctrico de una carga en el espacio.

Es así como, dentro de nuestra explicación del concepto de campo eléctrico a partir del movimiento de las fichas de ajedrez, que podemos incorporar el papel tan importante que tiene las fichas del juego vistas como cargas eléctricas, cargas eléctricas que pueden atraerse o rechazarse, dependiendo de la configuración que pueda formarse en el tablero del juego.

### ***Cuando las cargas eléctricas se atraen***

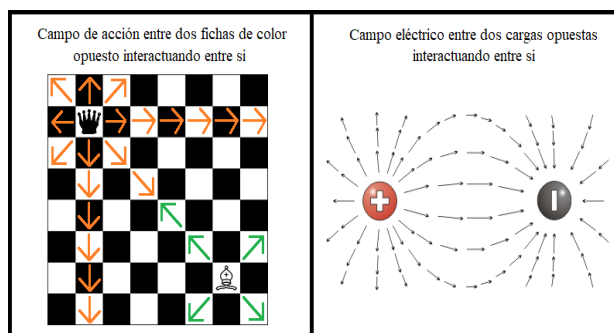
Ahora entraremos a explicar las configuraciones que podemos ver cuando las fichas del juego, vistas como cargas eléctricas, se pueden atraer.



*Figura 18.* Reina y alfil en posición de captura sobre sus líneas de acción.

Cuando tenemos dos cargas eléctricas de polaridad contraria, podemos ver según el modelo electrostático, que estas debido al campo eléctrico que generan, van a presentar una atracción entre sí, obedeciendo al principio electrostático de que: Opuestos se atraen e iguales se rechazan.

Dicho lo anterior, ahora analizaremos el tipo de interacción que presentan las dos fichas en la *Figura 18*. En donde podemos ver que las líneas de acción de cada ficha interactúan entre sí, haciendo que tanto el alfil como la reina, debido a sus respectivas formas de moverse se capturen mutuamente, es decir, se atraigan mutuamente, tal y como lo haría una carga negativa y una carga positiva puestas a interactuar (*Fig. 19*).



*Figura 19.* Campos de acción de dos fichas y el campo eléctrico generado entre dos cargas (A).

Ahora bien, puede suceder que, en una carga eléctrica puntual, no exista una fuerza atractiva como para generar un campo eléctrico lo suficientemente grande para atraer a otra carga, o estas no sean lo suficientemente grandes. Para el caso de las piezas del ajedrez, podríamos configurar esta situación a partir de los movimientos característicos de las fichas (*Fig. 20*).

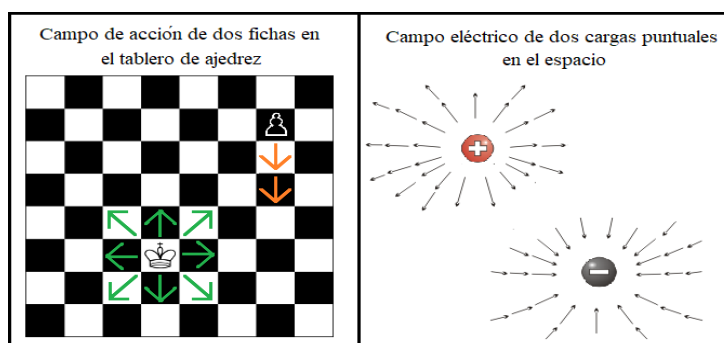


Figura 20. Campos de acción de dos fichas y el campo eléctrico generado entre dos cargas (B)

### *Cuando las cargas eléctricas se rechazan*

Para el caso puntual en donde se presente, que las cargas eléctricas sean de igual signo, tendremos que, en las fichas de ajedrez, esto se verá representado con piezas de igual bando, es decir, de igual color (Fig. 21).

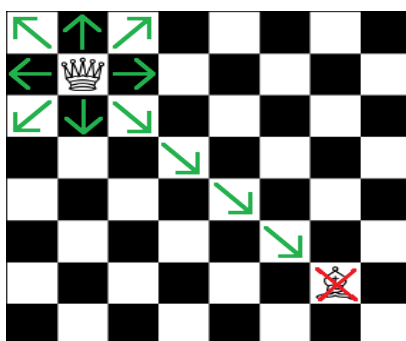


Figura 21. Campo de acción de una reina sobre un alfil del mismo bando/color.

Para este caso, se presenta la situación de rechazo entre fichas de ambos bandos pues al ser del mismo color no pueden capturarse, de manera que, si ahora lo vemos en la naturaleza de las cargas eléctricas, tendríamos gráficamente, que al ser de igual signo se rechazarían. (Fig. 22).

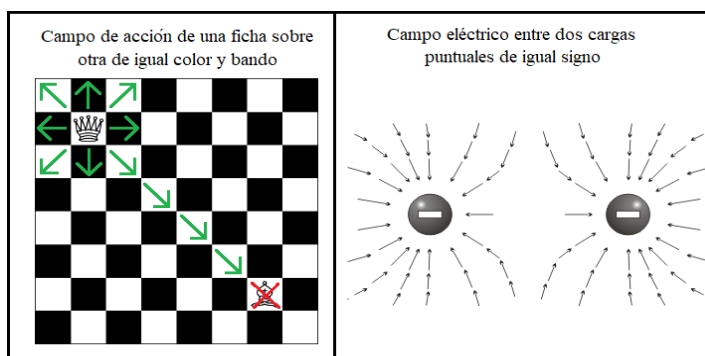


Figura 22. Fichas del mismo bando y dos cargas puntuales de misma polaridad.

Para otro ejemplo, podríamos establecer un cuadro comparativo en donde se configure un sistema de cargas puestas a interactuar entre sí, de forma distinta, bien sea por atracción o por repulsión, en donde se superpongan ambos modelos de interacción, tanto desde el modelo electrostático como desde la propuesta hecha con el juego de ajedrez (Fig. 23).

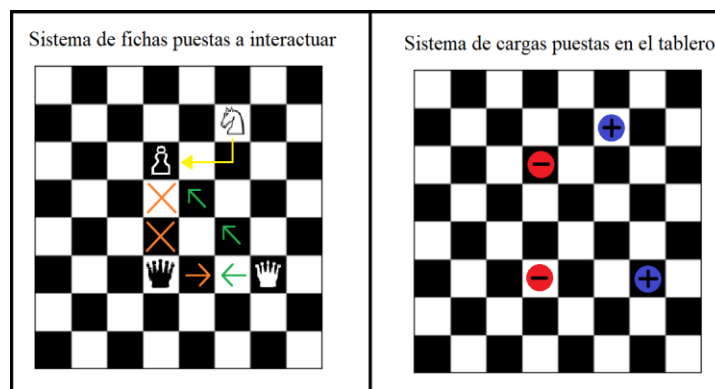


Figura 23. Incorporación del modelo electrostático en el cuadro de ajedrez.

Cabe destacar, que el ajedrez está clasificado como un juego intelectual y de reglas, ubicado en la categoría de juego pedagógico por su alto nivel educativo y científico (Blanco, 1998). Este autor, manifiesta que el ajedrez mejora la creatividad, el éxito académico, la resolución de problemas, ayuda al enriquecimiento cultural y su enseñanza metodológica incrementa el coeficiente intelectual en los estudiantes de cualquier nivel socioeconómico. Con el Ajedrez, el estudiante descubre su capacidad para resolver por sí mismo una determinada situación en el tablero, adquiere confianza en sus propias habilidades y destrezas, y además de ello asume actitudes autónomas, críticas y reflexivas. Desde hace cientos de años el ajedrez es considerado un dispositivo lúdico generador de cultura, que desarrolla la memoria y el pensamiento lógico, aumenta la concentración, sirve para entrenar la inteligencia estratégica, y estimula la capacidad de atención, disciplina e internalización de normas.

Las estrategias lúdico-didácticas basadas en el movimiento de las piezas de Ajedrez para comprender el concepto de campo eléctrico en los estudiantes de educación básica y media, permite desarrollar una mayor representación mental en el área de la física y su estructura conceptual, ya que estudios como los de Greca y Moreira, (1998; 2000) dan cuenta que los estudiantes construyen modelos representacionales simples de acuerdo a sus propios conocimientos de la física y la expansión de éstos es posible mediante la asimilación y acomodación de nuevos conocimientos en modelos más sofisticados y uno de estos modelos representacionales es el juego de ajedrez.

## CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio documental, cuyo objetivo general es generar una propuesta didáctica basada en el movimiento de las fichas de Ajedrez para la comprensión del concepto de campo eléctrico en los estudiantes de educación media y básica, arrojo las siguientes conclusiones:

- El contexto histórico le permite al estudiante de educación media y básica tener una visión amplia de la versatilidad explicativa del concepto de campo desde sus orígenes pre-científicos donde el Éter propuesto por Aristóteles tuvo gran predominancia en muchos pensadores o teóricos hasta aterrizar en la era moderna con Descartes, Newton, Faraday, Maxwell, Lorentz y Einstein, quienes trataron de no emplearlo a fondo para evitar entrar en diatribas sobre su veracidad y comprobación científica.
- El contexto histórico en el que se desarrolla el concepto de campo eléctrico permite establecer un puente cognitivo y comunicativo en la didáctica de la física y su cuerpo conceptual-teórico.
- El concepto de Éter, pese a ser considerado en la actualidad una sustancia indefinida e inmedible, permitió a los pensadores de las diferentes épocas darle características propias de existencia; y sobre él se construyeron modelos explicativos e imaginarios lo suficientemente elocuentes para demostrar todos los fenómenos de la naturaleza, en complementariedad con la experimentación y un lenguaje matemático acorde a la realidad o lo real.
- Existen dificultades en los estudiantes de educación media y básica para aceptar la existencia de un campo eléctrico en un medio donde las cargas están inmóviles, y además de ello se ignoran las fuentes de campo no representadas explícitamente en lenguaje matemático.
- Son pocos los estudiantes de educación media y básica que comprenden significativamente el concepto de campo eléctrico en física. No establecen diferencias conceptuales entre fuerza y campo eléctrico. También se precisa que la introducción del concepto de campo a partir de su definición operacional afecta su comprensión, y a su vez hace evidente problemas en el aprendizaje de la mecánica.

- Los estudiantes que logran obtener una comprensión y aplicación de los significados del concepto de campo eléctrico se debe porque desarrollan un modelo mental o representacional no convencional. Lo cual quiere decir que aprender el marco conceptual de una teoría o conceptos implica generar esquemas o modelos mentales (racionales e imaginarios).
- En muchos estudiantes se evidencia un pensamiento lineal-causal para comprender los fenómenos naturales en el caso de las ciencias fácticas como la física y la matemática.
- El presente trabajo investigativo puede servir de apoyo didáctico para el desarrollo de otras investigaciones documentales, y para que los docentes de física empleen estrategias lúdicas como el Ajedrez en vinculación con estructuras conceptuales complejas en el aula de clase.
- El Ajedrez desarrolla y potencia en el estudiante la capacidad para resolver problemas por sí mismo en una determinada situación en el tablero, adquiriendo confianza en sus propias habilidades y destrezas psicomotoras, y además de ello asume actitudes autónomas, críticas y reflexivas. Esta capacidad de abstracción le permite tener una amplitud de criterios intelectuales y estratégicos para resolver problemas lógico-matemáticos.
- Las estrategias lúdico-didácticas basadas en el movimiento de las piezas de Ajedrez para comprender el concepto de campo eléctrico en los estudiantes de educación básica y media, permite desarrollar una mayor representación mental en el área de la física y su estructura conceptual. Es por ello, que el Ajedrez en el contexto educativo es un modelo representacional idóneo para el aprendizaje en el área de la física y la matemática, pues estimula la motivación, la integración grupal, la disciplina, el seguimiento de normas y mejora considerablemente el rendimiento académico.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, M. (2004). *Historia de las Ciencias y la Formación de Profesores*. Física y Cultura, pp. 1-12
- Belendez, A. (2008). *La Unificación de Luz, Electricidad y Magnetismo: la Síntesis Electromagnética" de Maxwell*. Ensino de física, pp. 1-20.
- Ben-Dov, Y. (1999). *Invitación a la Física*.: Andres Bello: Santiago de Chile, Chile.
- Berkson, W. (1981). *Las Teorías de los Campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Alianza Editorial: Madrid, España.
- Blanco, U. (1998). *¿Por Qué el Ajedrez en las Escuelas?*. Primera Edición. Instituto Municipal de Publicaciones Alcaldía de Caracas. Caracas, Venezuela.
- Blasco, J y Pérez, J. (2003). *Metodologías de Investigación en las Ciencias de la Actividad Física y el Deporte: Ampliando Horizontes*. Tesis Doctoral publicada. Universidad de Alicante, España. [Documento en línea]. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/12270/1/Blasco.pdf>. Consultado en Abril 2020.
- Cassini, A y Levinas, M. (2009). *El Éter Relativista: Un Cambio Conceptual Inconcluso*. Revista Hispanoamericana de Filosofía.
- Ceballos, H y Morffe, J. (2015). *El Ajedrez como Herramienta Lúdica para Favorecer el Desarrollo de los Valores en la Etapa Preescolar de la Educación Inicial*. Trabajo Especial de Grado publicado. Facultad de Humanidades y Educación. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/18244/1/Completo.pdf>.
- Cepeda Ramírez, M. (2017). *Magisterio*. Documento en línea. Disponible en: <https://www.magisterio.com.co/articulo/el-juego-como-estrategia-ludica-de-aprendizaje>.
- Domingo, T. (2001). *La Fenomenología Hermenéutica de Paul Ricoeur: Mundo de la Vida e Imaginación*. Artículo en línea disponible en: [http://www2.uned.es/dpto\\_fim/InvFen/InvFen03/pdf/19\\_DOMINGO.pdf](http://www2.uned.es/dpto_fim/InvFen/InvFen03/pdf/19_DOMINGO.pdf)
- Einstein, A. (1905). Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento. *Annalen der Physik*, pp. 891 - 921.
- Einstein, A., Field, I y Huyguens, C. (1939). *La Física una Aventura del Pensamiento*. Losada S.A. Bueno Aires, Argentina.

- Faraday. (1816). Chemist Lectures. En W. Berkson, *Las Teorías de los Campos de Fuerza. De Faraday a Eintein*, pp. 53. Madrid: Alianza S.A.
- Faraday, M. (1855). *Experimental Researches in Electricity*. London: Richard and John Edward Taylor, printers and publishers to the University of London.
- Faraday, W. (1981). *Las Teorías de los Campos de Fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. En Berkson, *Las Teorías de los Campos de Fuerza. Desde Faraday hasta Einstein* (pág. 280). Madrid: Alianza Editorial S.A.
- Feynman, R y Leighton, R. B. (1972). *Física V II Electricidad y Magnetismo*. Fondo Educativo interamericano: México.
- Fernández Amigo, J. (2008). *Utilización de Material Didáctico con Recursos de Ajedrez para la Enseñanza de las Matemáticas. Estudio de sus Efectos sobre una Muestra de Alumnos de 2do de Primaria*. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad Autónoma de Barcelona. Tesis Doctoral Publicada.
- Fresnel, A. (1818). *Letter from Augustin Fresnel to François Arago, on the Influence of the Movement of the Earth on Some Phenomena of Optics*. Annales de Chimie et de Physique, pp. 286.
- Furio, C y Guisasola, J. (1993). *Dificultades de Aprendizaje de los Conceptos de Carga y de Campo Eléctrico en Estudiantes de Bachillerato y Universidad*. Enseñanza de las Ciencias, pp. 131-146.
- Gabas Masip, j. (2015). *Maxwell: la Teoría Electromagnética de la luz*. ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura Vol. 191-775, septiembre-octubre 2015, a265 | ISSN-L: 0210-1963. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2015.775n5004>
- Gómez, P y González, E. (2012). Las Ecuaciones de Maxwell. Documento en línea. Disponible en: [https://eltamiz.com/files/Ecuaciones\\_Maxwell.pdf](https://eltamiz.com/files/Ecuaciones_Maxwell.pdf)
- Greca, I. M. y Moreira, M. (1998). Modelos Mentales y Aprendizaje de Física en Electricidad y Magnetismo. Enseñanza de las Ciencias. p.p. 289-303.
- Greca, I. M. y Moreira, M. (2002a). *Mental, Physical, and Mathematical Models in the Teaching and Learning of Physics*. Science Education. p.p. 106-121.
- Holton, G. (1989). *Teoría del Campo Electromagnético*. En G. Holton, *Teoría del Campo Electromagnético*, pp. 613. Reverté: Barcelona, España.

- KDE Documentation. (2013). *KDE Documentation*. Obtenido de KDE Documentation. Disponible en: <https://docs.kde.org/trunk5/es/kdegames/knights/board.html>.
- Lorentz, H. (1937). *Collected Papers*. Volumen 4. Madison: the University of Wisconsin, USA.
- Lorenzo, M. G. (2012). *Los Formadores de Profesores: El Desafío de Enseñar Enseñando*. Revista de Currículum y Formación de Profesorado, 16(2), pp. 295-312.
- Margenau, H. (1977). *El Concepto de Campo en la Ciencia Moderna*. Material Mimeografiado.
- Martínez, M. (2002). *Comportamiento Humano: Nuevos Métodos de Investigación*. (2da Reimpresión). México: Trillas.
- Maxwell, J. C. (1862). *On physical lines of force. Part 4. The theory of electrical vortices applied to the action of magnetism on polarized light*. The London, Edinburg and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, XXIII, pp. 85-95.
- Maxwell, J. C. (1864). *On Faraday's lines of force*, Transactions of the Cambridge Philosophical Society, X, pp. 27-83.
- Maxwell, J. C. (1865). *A dynamical theory of the electromagnetic field*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 155, pp. 459-512. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1865.0008>
- MINEDUCACION (2015). *Ministerio de Educación Nacional*. Disponible en: [http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-116042\\_archivo\\_pdf.pdf](http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-116042_archivo_pdf.pdf).
- Noreña, A, Alcaraz, N, Rojas, J y Rebolledo, D. (2012). *Aplicabilidad de los Criterios de Rigor y Éticos en la Investigación Cualitativa*. Documento en línea. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/aqui/v12n3/v12n3a06.pdf>
- Panov. V (1971). *Ajedrez Elemental*. Ediciones Martínez Roca, S. A. Gran vía, 774, 7, 08013 Barcelona, pp. 9-14.
- Paty, M. (1993). *Einstein Philosophe*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Prada Coronado, W. A. (2015). *De la Acción a Distancia al Concepto de Campo*. Tesis de grado,
- Quintero García, M. y Torres García, Y. (2016). *Estrategia de Enseñanza de las Líneas de Campo Eléctrico de una Partícula Cargada en Movimiento*. Trabajo de Grado publicado. Departamento de Física. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia

- Ramos Lozano, Y. P. (2016). *Reflexiones sobre la Importancia del Concepto de Campo en Física. Una Re-Contextualización*. Trabajo de Grado. Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad Pedagógica Nacional Revista de Ciencias Sociales, pp. 484.
- Real Academia Española (2015). *Real Academia Española*. Disponible en <http://dle.rae.es/http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=%E9ter>
- Restrepo, G. (2011). *Relatividad Especial: Fundamentos y Propuesta Didáctica para su Enseñanza en la Escuela Secundaria*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Trabajo de Grado de Maestría Publicado.
- Rodríguez, L. N. (2014). *Aplicación de los Juegos de Mesa como Estrategia Pedagógica para Facilitar el Aprendizaje en la Educación Inicial*. Corporación Universitaria Iberoamericana, Ciencias Humanas y Sociales. Bogotá D.C.: Corporación Universitaria Iberoamericana.
- Roncancio Ortiz, A. P., Ortiz Carrera, M. F., Llano Ruiz, H., & Malpica López, M. J. (2017). *El Uso De Los Videojuegos Como Herramienta Didáctica*. Material mimeografiado.
- Suarez, N. (2007). *La Investigación Documental Paso a Paso*. Consejo de Publicaciones. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela
- Universidad Pedagógica Nacional. (2015). Documento en Línea. Disponible en: <http://cienciaytecnologia.pedagogica.edu.co/vercontenido.php?idp=380&idh=385&idn=8055> Bogotá, Colombia.
- Velasco, S y Salinas, J. (2001). *Comprensión de los Conceptos de Campo Energía y Potencial Eléctricos y Magnéticos en Estudiantes Universitarios*. Brasillera de Ensiso de Física, pp. 308-319.
- Wald, R. (1992). *Espacio, Tiempo y Gravitación. La Teoría del Big Bang y los Agujeros Negros*. Fondo de Cultura Económica: Barcelona, España
- Whittaker, E. (1973). *Aether and Electricity*. New York: Humanities press.
- Wiederkehr K. H. (2007). *Heinrich Hertz (1857-1894). Leben und Werk*. En: Wolfschmidt G. (ed.) *Von Hertz zum Handy - Entwicklung der Kommunikation*. Hamburg: Nuncius Hamburgensis, pp. 6.