

# **PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**

**DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICAS ESPECÍFICAS**



**UNIVERSIDAD DE BURGOS**



**UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL**

## **LA COMPRENSIÓN DE PROBLEMAS DE CAMPO ELÉCTRICO EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS: ASPECTOS DE LA INSTRUCCIÓN EN LA ORGANIZACIÓN DE REPRESENTACIONES**

Tesis realizada por Gloria Elena Alzugaray de la Iglesia, en el Programa de doctorado Internacional Enseñanza de las Ciencias de la Universidad de Burgos,  
Directores: Dr. Marco Antonio Moreira y Dra. Marta Beatriz Massa

Burgos, setiembre 2010



**UNIVERSIDAD DE BURGOS ESPAÑA**

**PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO  
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**

**Departamento de Didácticas Específicas**



**LA COMPRENSIÓN DE PROBLEMAS DE CAMPO ELÉCTRICO EN  
ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS: ASPECTOS DE LA INSTRUCCIÓN  
EN LA ORGANIZACIÓN DE REPRESENTACIONES**

**GLORIA ELENA ALZUGARAY de la IGLESIA**

**Burgos, setiembre 2010**



A mis dos amores  
Dani y Carlos



## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi agradecimiento a todos aquellos que colaboraron, más allá de lo que correspondía, en la corrección de esta tesis:

A mis directores, Dr. Marco A. Moreira y Dra. Marta Massa por su permanente orientación e inestimable aliento en las distintas etapas de la tarea de investigación.

Al Ing. Ricardo A. Carreri por permitir la intervención didáctica en su curso de Física Eléctrica.

Y finalmente al apoyo económico de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe.



## RESUMEN

La experiencia de la tesista como docente universitaria ha permitido reconocer la permanente reiteración de fracasos en un grupo importante de estudiantes cuando resuelven problemas de examen, en los que el concepto de campo eléctrico tiene relevancia. Aún entre quienes resuelven satisfactoriamente, es frecuente observar que, en la fundamentación oral de las resoluciones, se hace uso adecuado de estructuras formales pero sin otorgar un significado físico a los conceptos utilizados. A menudo queda la duda si responde a la activación de un esquema de resolución aplicado previamente en situaciones que el estudiante advierte como análoga.

La investigación desarrollada en esta tesis estuvo orientada a analizar, en profundidad, las situaciones de aprendizaje que acontecen en el aula cuando se enseña el concepto de campo eléctrico en las distintas actividades que se desarrollan en el aula. Se buscó profundizar en cuestiones relacionadas con la comprensión de este concepto y el rendimiento de los estudiantes en los exámenes y, en función de los resultados, estudiar la efectividad de una propuesta de intervención didáctica.

Se indagó como el alumno se sitúa en el conocimiento del concepto de *campo eléctrico* durante la resolución de problemas para: desarrollar representaciones, establecer condiciones, desarrollar inferencias, organizar razonamientos, recuperar esquemas de resolución, diseñar estrategias y confrontar dialécticamente diferentes supuestos y enfoques de resolución.

Se adoptó como marco la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel y Novak, conjuntamente con la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud. También se recurrió a los aportes derivados de los fundamentos epistemológicos de la ciencia y sus implicaciones didácticas.

La investigación comprendió dos etapas, la primera se centró sobre la

comprensión del concepto de campo eléctrico, con una fase inicial, de carácter preliminar, bajo una perspectiva integradora que permitió una visión de algunos de los fenómenos sociales que ocurren en el aula al introducir y trabajar operativamente con el concepto de campo eléctrico. La misma se continuó con otra fase centrada sobre las actuaciones de los estudiantes durante el examen, como expresión individual de su aprendizaje. Se trabajó con dos muestras de estudiantes de Física Eléctrica de dos Facultades argentinas: la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Santa Fe y la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional.

La segunda etapa consistió en un estudio evaluativo de una propuesta de intervención didáctica en un curso de Física Eléctrica de la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional.

Los conceptos claves de la teoría de los campos conceptuales dieron sentido a las dificultades en la conceptualización de las actividades de la propuesta de intervención didáctica y de la indagación evaluativa.

Los resultados alcanzados en esta investigación pretenden ser un aporte en la toma de decisiones de futuras propuestas curriculares y didácticas que tengan en cuenta el concepto de campo eléctrico como eje a nivel de los contenidos, de las secuencias de ellos y de los sistemas de evaluación a utilizar.

## **ABSTRACT**

The author's experience in college teaching has allowed for acknowledging the lasting reiteration of failures in a group of students when solving examination problems, in which the concept of electric field is relevant. Even among those who come up with satisfactory answers, it is quite common to notice that in their verbal explanation of these solutions they seem to adequately apply formal structures though without granting any physical meaning to the concepts they have used. Often there is a doubt whether the activation of a resolution scheme is linked to the activation of another resolution scheme that has been previously applied to the situations students consider as analogous to the ones at hand.

The research developed in this thesis aimed at an in-depth analysis of learning situations in the classroom, when the concept of electric field is taught in the diverse classroom activities. The goal here has been to inquire into issues linked to the understanding of this concept and to the students' achievement in examinations, and, based on the obtained results, to study the effectiveness of a proposal of pedagogical intervention.

The research question focuses on where the student is in relation to what he/she knows about the concept of electric field in problem solving linked to developing representations, establishing conditions, developing inferences, organizing thoughts, recuperating resolutions schemes, designing strategies, and grappling with dialectically different resolution assumptions and approaches.

The Theory of Meaningful Learning, by Ausubel and Novak, the Theory of Mental Models, by Johnson-Laird, and the Theory of Conceptual Fields, by Vergnaud, constitute the theoretical framework of this thesis. Contributions stemmed from epistemological foundations of science together with their pedagogical implications have been also applied.

This research had two stages. The first one centered on the comprehension of the concept of electric field, initially under an integrative perspective, which allowed for an overview of some of the social phenomena that occur in the classroom when introducing the concept of electric field and operatively working with this concept. This same stage proceeded with another phase based on the students' performances in the exam as an individual expression of his/her learning. There were two samples of students of Electrical Physics in two Argentinean colleges: Chemical Engineering in the National University of Santa Fe and in the Regional Santa Fe College of the National Technological University.

The second stage of this research comprised an evaluative study of a proposal of pedagogical intervention in a Electrical Physics course at the Regional Santa Fe College in the National Technological University.

The key-concepts of the conceptual fields theory helped to provide on meanings to the difficulties in the conceptualization of activities of the pedagogical intervention and of the evaluative inquiry.

Research findings of this study intend to contribute to decision making in relation to future curricular and pedagogical proposals that consider the concept of electric field as an axis in reference to contents, their sequencing, and to the evaluation systems to be used.

## ÍNDICE

### **CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN**

1.1. Introducción .....	17
1.2. Ubicación de la problemática .....	18
1.3. <i>Diferentes enfoques en resolución de problemas en ciencias</i> .....	21
1.4. Estado del conocimiento .....	32
1.4.1. Relativo al concepto de campo eléctrico .....	32
1.4.2. Relativo a la resolución de problemas de campo eléctrico.....	34
1.5. Motivación del trabajo .....	40
1.5.1. Significado didáctico de la resolución de .....	45
problemas de concepto de campo eléctrico	
1.6. El problema de la investigación.....	48
1.7. Objetivos .....	50
1.8. Referentes teóricos de la investigación .....	50
1.9. Diseño de la investigación.....	52
1.9.1. Etapa I: Estudio preliminar del concepto de campo .....	53
eléctrico en la resolución de problemas	
1.9.2. Etapa II: Propuesta de intervención didáctica: diseño,.....	56
Implementación e indagación evaluativa	
1.10. Síntesis explicativa de los capítulos constitutivos .....	57

### **CAPÍTULO 2: CAMPO ELÉCTRICO FUNDAMENTOS HISTÓRICOS**

2.1. Introducción .....	59
2.2. El contexto histórico de la explicación científica y el modelo científico.....	60
2.3. Antecedentes históricos en el estudio de la electricidad .....	65
2.4. La teoría de los dos fluidos .....	72
2.4.1. Teoría de Franklin de un solo fluido .....	74
2.4.2. Principio de conservación de la carga .....	75
2.5. La ley de la fuerza eléctrica y la distancia.....	77
2.5.1. Los experimentos de Coulomb .....	78
2.5.2. Ocaso de la teoría de los efluvios: Faraday y el concepto de campo.....	80
2.6. Los pilares de la teoría del campo .....	86
2.7. Dificultades de aprendizaje y problemas histórico-epistemológicos.....	89
2.8. Significado epistemológico de la resolución de problemas .....	91

### **CAPÍTULO 3: REFERENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1. Introducción .....	95
3.2. El aprendizaje significativo de Ausubel-Novak: aspectos.....	97
psicológicos y lingüísticos.	
3.2.1. El lenguaje para la Teoría del Aprendizaje Significativo .....	100
3.2.2. La resolución de problemas en la Teoría del Aprendizaje Significativo ....	103
3.3. La Teoría de los Modelos Mentales de Johson-Laird.....	106
3.4. La Teoría de los Campos Conceptuales .....	117
3.4.1. La Teoría de Vergnaud y sus implicancias didácticas para la .....	132
resolución de problemas	
3.5. Aportes del marco teórico en la construcción del concepto de campo.....	133
eléctrico	

### **CAPÍTULO 4: ENFOQUE METODOLÓGICO PRIMERA ETAPA**

4.1. Introducción .....	141
4.2. El enfoque metodológico en el diseño de la investigación.....	145
4.3. El contexto de la investigación.....	146
4.3.1. Presentación institucional de la FIQ-UNL.....	147
4.3.2. Presentación institucional de la FRSF-UTN .....	149
4.4. Etapa I: Estudio preliminar del concepto de campo eléctrico en la.....	151
resolución de problemas. Diseño de la investigación	
4.4.1. Fase I: Investigación preliminar .....	151
4.4.2. Fase II: Estudio del desempeño de los estudiantes en la.....	167
Resolución de problemas de campo eléctrico	

### **CAPÍTULO 5: RESULTADOS DE LA ETAPA I: ESTUDIO PRELIMINAR DEL CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS**

5.1. Introducción .....	177
5.2. Fase I: Investigación Preliminar.....	178
5.2.1. Las clases de resolución de problemas observadas.....	178
5.2.2. La clase de trabajos prácticos de laboratorio observada y el .....	195
análisis de los informes del trabajo práctico	
5.2.3. Factores que dificultan la resolución de problemas: .....	210
resultado de la encuesta aplicada a los docentes	
5.2.4. La comprensión del problema: resultados de la .....	212
encuesta A aplicada a estudiantes.	

5.2.5. Valoración de actividades en la cátedra: .....	218
resultados de la encuesta B aplicada a estudiantes	
5.2.6. Aprendizaje colaborativo en la resolución de problemas: .....	221
resultados de la encuesta C aplicada a los estudiantes	
5.2.7. Análisis de las entrevistas a docentes de física eléctrica .....	226
5.2.8. Entrevista a docentes del ciclo superior .....	227
5.3. Fase II: Estudio del desempeño de los estudiantes en la .....	229
resolución de problemas de campo eléctrico	
5.3.1. Resultados de las medidas de correlación y pruebas de .....	231
significación	
5.3.2. Características de los procesos de resolución analizados.....	232
5.4. Síntesis de los principales resultados de la <i>Etapa I</i> .....	235

## **CAPÍTULO 6: SEGUNDA ETAPA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN**

### **DIDÁCTICA: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN E INDAGACIÓN EVALUATIVA**

6.1. Introducción .....	240
6.2. Fundamentos y criterios de diseño de la propuesta de intervención.....	242
didáctica	
6.2.1. Organización de la propuesta de intervención didáctica.....	245
6.3. Diseño de desarrollo de la unidad didáctica: " <i>Campo Eléctrico</i> ".....	247
6. 4.Indagación evaluativa .....	259
6.4. 1. Fase I: Análisis de contenido en la comprensión de un texto.....	260
6.4.2. Fase II: Análisis de la resolución de una situación .....	282
problemática con diferentes enunciados	
6.4.3. Fase III: Análisis de enunciados de una guía de cuestiones .....	294
6.4.4. Fase IV: Actividad de auto-evaluación relacionada .....	306
con el trabajo práctico utilizando software de simulación.	

## **CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES**

7.1. Introducción .....	331
7.2. Conclusiones de la primera etapa: Estudio preliminar del concepto.....	333
de campo eléctrico en la resolución de problemas	
7.3. Conclusiones sobre la propuesta de intervención didáctica.....	342
7.4. Síntesis de la indagación evaluativa.....	349
7.5. Consideraciones finales.....	355
7.6. Implicancias de la investigación.....	356

7.7.Derivaciones de esta investigación .....	360
--	-----

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>364</b>
<b>Anexo I.....</b>	<b>392</b>
<b>Anexo II.....</b>	<b>396</b>
<b>Anexo III.....</b>	<b>401</b>
<b>Anexo IV.....</b>	<b>409</b>
<b>Anexo V.....</b>	<b>426</b>
<b>Anexo VI.....</b>	<b>435</b>

## **CAPÍTULO 1**

### **PRESENTACIÓN**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta el eje en torno al cual se organizó la investigación sobre la que se asienta el trabajo de tesis dentro del Programa Internacional de Doctorado. Éste se desarrolla en el marco del acuerdo de colaboración académica entre las Facultades de Ciencias y de Humanidades y Educación de la Universidad de Burgos y el Instituto de Física de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brasil), con la colaboración de investigadores de otras universidades en el área de Enseñanza de las Ciencias.

El marco conceptual subyacente a este Programa de Doctorado fue básicamente la teoría del aprendizaje significativo y aquellas ubicadas en la línea de la psicología cognitiva contemporánea. Las mismas han sido tomadas como referencias para esta investigación. En este capítulo se presenta y discute el problema de investigación que se abordó, haciendo una presentación de antecedentes en la temática, así como cuestiones generales relacionadas con los referentes teóricos y el enfoque metodológico utilizados en su desarrollo.

## 1.2. UBICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La formación básica en las carreras de ingeniería a nivel mundial y, en particular, en Argentina contempla el desarrollo de contenidos de Electromagnetismo. Uno de los temas fundamentales está vinculado con el concepto de *campo eléctrico* y su aplicación a situaciones prácticas de interés profesional. Sin embargo, es un concepto no sencillo de internalizar en los estudiantes no sólo por su nivel de abstracción sino también por la tensión que se produce frente a la noción de fuerza eléctrica como interacción a distancia.

Una de las maneras tradicionales para la acreditación de los contenidos de las asignaturas a nivel universitario se realiza a través de la resolución de problemas donde se pone en evidencia no sólo la capacidad del futuro ingeniero para aplicar conceptos sino también su habilidad para comprender situaciones problemáticas de contextos reales, modelizarlas y planificar soluciones posibles, seleccionando entre ellas la óptima dentro de las condiciones establecidas.

En las carreras de ingeniería, donde la Física tiene una función formativa relevante, la ausencia de habilidades para la resolución de problemas, o bien, un insuficiente desarrollo de las mismas se transforma en débiles desempeños en las evaluaciones.

Este fracaso de los estudiantes deviene en retraso y/o abandono durante los primeros cursos universitarios. Esto constituye un factor de alto impacto económico para el país siendo especialmente atendido en los procesos de acreditación de las carreras universitarias. En particular, la Facultad Regional Santa Fe (FRSF) perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) en Argentina fue sometida, en el año 2005 a evaluación externa como forma de acreditar las carreras de ingeniería que se dictan en esta institución.

---

Las carreras de ingeniería de todas las universidades argentinas han llevado adelante procesos de acreditación de los cuales surgen diagnósticos acerca del estado de la formación universitaria de los ingenieros, señalando fortalezas y deficiencias particulares de las unidades académicas evaluadas en las distintas regiones del país. Entre las últimas se destacaran como más notorias:

- *Formación en los ciclos básicos:* bajo rendimiento de los alumnos y deficiencias en la formación en ciencias básicas, rigidez de las estructuras curriculares.
- *Fracaso en los primeros años:* deserción, desgranamiento, baja tasa de egreso, prolongada duración real de las carreras.
- *Formación de recursos humanos:* debilidades formativas y de actualización de los docentes de la institución.
- *Déficit de infraestructura y equipamiento:* carencias o desactualización de los recursos didácticos y experimentales requeridos para el desarrollo de las actividades teóricas y prácticas.
- *Cooperación y desarrollo con las empresas:* deficiente articulación entre la formación académica y la actividad económica de la industria y de empresas de servicios.
- *Cooperación y articulación con otras instituciones:* insuficiente desarrollo de actividades de extensión con la comunidad, con otras instituciones universitarias y con organismos de investigación estatales y privadas.

En este contexto la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU) del Ministerio de Educación de Argentina impulsó una propuesta integral con financiamiento a las universidades a fin de colaborar en la implementación de las modificaciones y reformas necesarias que permitiera mejorar la calidad de la formación de ingenieros. Por Resolución 111/04 se creó una

comisión de expertos integrada por destacadas personalidades, miembros de la comunidad educativa, que elaboró un informe en el que se delinearon las bases para la puesta en marcha de un Proyecto de Mejoramiento de la Enseñanza en Ingeniería (PROMEI) financiado por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología a través de la Secretaría de Políticas Universitarias. En este contexto en la Facultad Regional Santa Fe perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional se presentaron diversos proyectos para afianzar la formación básica y articulación de los Ciclos Generales de Conocimientos Básicos. Esto significó el desarrollo por parte de la tesista de proyectos en el espacio del Ciclo Básico, en particular, en la asignatura Física, que permitieron delinear el problema de investigación sobre el que se centra esta tesis.

Cabe destacar que la investigación en Educación en Física viene haciendo importantes aportes para revertir las dificultades en la enseñanza – aprendizaje de conceptos básicos y en la resolución de problemas, fundamentales en la formación de los futuros profesionales ingenieros. Si bien se han hecho aportes importantes caracterizando las diferencias entre las actuaciones de los “expertos” y “novatos”, los estudios han mostrado la necesidad de profundizar la indagación, orientando la mirada sobre los procesos cognitivo-lingüísticos que desarrolla un sujeto durante la resolución, la manera en que organiza sus representaciones mentales y los posibles sesgos que introduce durante la resolución o durante la formalización. Ésta es un área aún no suficientemente investigada y donde se debe avanzar en el desarrollo de marcos teóricos que sustenten las actuaciones de los estudiantes.

Es en esta línea en la que se ubica la presente tesis, focalizando específicamente sobre *campo eléctrico* como contenido conceptual y como campo de procedimiento alternativo al esquema coulombiano ligado a la noción de fuerza. Es en este último sentido que la temática abordada se introduce también en cuestiones de fuerte base epistemológica como la que

---

remite a la construcción de la noción espacio/temporal de campo de fuerte implicancia teórica en la Física Contemporánea.

### **1.3. DIFERENTES ENFOQUES EN RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN CIENCIAS**

La literatura sobre la resolución de problemas muestra diferentes enfoques para su análisis e interpretación. Entre éstos cabe mencionar los trabajos orientados a estudiar las acciones desarrolladas por los sujetos al resolver. En esta línea se sitúan los estudios comparativos sobre la resolución de problemas de los expertos (investigadores, científicos y profesionales) y los novatos (en general, estudiantes o adultos en contextos nuevos). En estos estudios se busca detectar las diferencias sobre los modos de abordaje y de resolución de los problemas propuestos.

También se han tenido como referencias cuestiones investigadas en resolución de problemas relativas a:

*las acciones y las características particulares del sujeto que resuelve: la motivación, la experiencia, las concepciones previas, la aceptación de desafíos, la tolerancia al fracaso, la resistencia a actuar ante situaciones desconocidas, las representaciones internas del sujeto que resuelve, etc. (Gaulin, 2001; Lang da Silveira, Moreira y Axt, 1992; Larkin, 1980; Larkin, McDermott, Simon and Simon, 1980; Vasconcelos, Lopes, Costa, Marques y Carrasquinho, 2007);*

- *la forma en que se presenta el problema:* en esta línea se enmarcan aquellos trabajos que estudian el efecto de la estructura, contenido, sintaxis y orientaciones con que se formula la situación problemática a un sujeto (Ceberio Garate, Guisasola Aranzabal y Almudi García, 2005; Favero y Soares Gomes de Souza, 2001; Gil Pérez y Martínez

Torregrosa, 1987; Gil Pérez y Martínez Torregrosa y Senet, 1988; Van Heuvelen, 1991; Vasconcelos, Lopes, Marqués, Costa, Chaves, Silva y Cunha, 2004);

- *las estrategias desarrolladas por el sujeto cuando resuelve:* se estudian las actividades, tanto físicas como mentales, que ejecutan los sujetos al resolver, la manera de definir metas y procedimientos, las tomas de decisión, los controles y regulaciones que ejecutan (Buteler y Coleoni, 2007; Massa, Sánchez, Llonch y D'Amico, 2000; Massa, Llonch y D'Amico, 2005; Reif, 1979, 1983; Rosa, Moreira y Buchweitz, 1992; Simon y Simon, 1978; Simon, 1992);
- *las propuestas de metodologías didácticas:* se investiga el efecto de diseños de implementación didáctica en las aulas procurando aproximar a los novatos hacia las conductas, actitudes y procedimientos de los especialistas (Coronel y Curotto, 2008; Dufresne, Gerace, Hardiman and Mestre, 1992; Porlán, 1998);
- *los factores que influyen la resolución en el aula:* se estudia aquí el efecto del entorno social y de las interacciones entre los participantes de la clase en la interpretación del enunciado de un problema, la organización del conocimiento o el dominio de los conceptos relevantes (Buteler y Gangoso, 2001; Coronel y Curotto, 2008; Larkin y Reif, 1979; Lin, Cheng y Lawrenz, 2000; Llonch, Sánchez, Massa y D'Amico, 2001; Peduzzi, Moreira y Zilberstagen, 1992; Polya, 1945; Reif y Heller, 1981; Sánchez, Escudero y Massa, 2001, entre otros);
- *las estrategias específicas para facilitar la resolución de problemas:* se trata de enseñar a los alumnos estrategias heurísticas que ayuden en la resolución de problemas. Entre éstos se encuentran trabajos enmarcados dentro de la llamada "orientación algorítmica" (consistente en la transformación de los problemas en situaciones

---

standard que puedan resolverse mediante situaciones "rutinarias") (Gil Pérez y Castro Valdés, 1996; Larkin, 1980; Larkin y Reif, 1979; Massa, Llonch y Sánchez, 2001; Peduzzi y otros, 1992; Polya, 1945).

Estos trabajos han orientado el interés por la fundamentación teórica y por evitar tratamientos parciales que limiten la investigación. Sin embargo, algunas de ellas presentan el inconveniente de haber aceptado acríticamente lo que en la enseñanza habitual se denomina resolución de problemas y de asumir implícitamente el modelo subyacente de enseñanza-aprendizaje como simple transmisión-recepción de conocimientos ya elaborados, lejos de los desarrollos recientes que asumen que, a través de un mismo proceso, se construye un conocimiento significativo y se desarrolla una alternativa curricular (Ausubel, Novak y Hanesian, 1991; Novak y Gowin, 1996; Porlán y Rivero, 1998).

Esta tesis se sitúa dentro de una orientación que considera que el aprendizaje es básicamente un proceso de construcción de conocimientos, en el que las representaciones de los alumnos juegan un papel importante, y se ponen de manifiesto cuando se razona, se explica y se desarrollan actividades que comprometen respuestas para resolver una situación problemática. En este sentido, la resolución de problemas tiene lugar en cualquier nivel del proceso de enseñanza-aprendizaje donde el estudiante encuentra una dificultad que se le presenta como un desafío y que lo incentiva para superarla y entenderla.

Los siguientes tres supuestos constituyen la base sobre la cual se enmarca el trabajo realizado:

- la construcción del conocimiento científico incluye tareas de formulación y resolución de problemas con distintos niveles de complejidad. Este proceso debe trabajarse en el aula para el aprendizaje de una disciplina (Alzugaray, 2009; Alzugaray y Massa, 2009; Coleoni y Buteler, 2008; Gil

Pérez y Carrascosa, 1985; Massoni y Moreira, 2007; Saraiva-Neves, Caballero y Moreira, 2007; Stewart y Hafner, 1994);

- las tareas de formulación y resolución de problemas movilizan habilidades de proceso (conocimiento procedimental) y de organización de relaciones entre conceptos científicos (conocimiento conceptual) en los diferentes contextos de aprendizaje que se investiguen (Buteler y Gangoso, 2001; Garrett, 1989; Henao y Stipcich, 2008; Novak, 1990; Pozo, Postigo y Gómez Crespo, 1995; Scancich, Yanitelli y Massa, 2009; Yanitelli, Rosolio y Massa, 2007);
- el conocimiento científico es una construcción social que implica un trabajo en equipo. Esto debe reproducirse en el aula, siendo la resolución de problemas una de las estrategias más eficaces para conseguirlo (Carrascosa, Gil Pérez y Vilches, 2006; Domenech, Gil Pérez, Gras, Guisasola, Martínez Torregrosa, Salinas, Trumper, Valdés y Vilches, 2007; Edwards, Gil Pérez, Vilches, y Praia, 2004; Gil Pérez, 1993; Watts, 1994).

La resolución de problemas reúne tareas extremadamente diversas según se ha establecido anteriormente, de la cual dan cuenta los resultados emergentes desde la investigación (Buteler y Coleoni, 2007; Cabral da Costa y Moreira, 1997, 2001, Cabral da Costa 2005; Favero y Soares Gomes de Sousa, 2001; Gangoso, 1999a; Massa, Sánchez, Llonch y D'Amico, 2000; Scancich, Yanitelli y Massa, 2008). Algunos de estos trabajos han señalado que, más allá de la existencia de algunos procedimientos generales, se evidencia una marcada dependencia del contenido en las tareas de resolución que demandan estudiar los procesos realizados por el sujeto que resuelve en distintos entornos de trabajo.

En la última década, la resolución de problemas ha tomado un interés creciente por sus importantes perspectivas en el desarrollo de las capacidades que posibilitan al estudiante construir conocimiento y aplicarlo

---

a situaciones concretas, dotándolo de significado. Los trabajos desarrollados desde enfoques psicológicos, instruccionales, pragmáticos, psicolingüísticos y sociales han producido marcos teóricos que guían la selección de problemas, los procedimientos de resolución y la interpretación de las acciones del sujeto que resuelve (Escudero y Jaime, 2003; Escudero y Moreira, 2002; Escudero y Moreira, 2004; Becerra Labra, Gras-Martí y Martínez Torregrosa, 2005; Massa, Escudero y García, 2000; Massa, Sánchez, Llonch y D'Amico, 2000; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Reif, 1979, 1983). Algunos de estos trabajos han señalado que, más allá de la existencia de algunos procedimientos generales, se evidencia una marcada dependencia del contenido en las tareas de resolución que demandan estudiar los procesos realizados por el sujeto que resuelve en distintos entornos de trabajo.

La investigación muestra que los recursos cognitivos necesarios y la posibilidad de transferencia no son las mismas si los problemas se corresponden con tareas académicas, tareas prácticas o tareas del mundo real. Estos trabajos han tendido a identificar características de los resolvedores exitosos, pero se conoce muy poco acerca del tipo de representaciones internas que forman en el momento de la resolución.

La resolución de problemas se ha considerado como parte esencial de la enseñanza de la Física. Los problemas son entendidos como situaciones que plantean, a la persona que quiere resolverla, dificultades para las cuales no posee soluciones hechas o no conoce medios o caminos evidentes para obtenerla. (Garrett, 1989, 1995; Gil Pérez, 1993). Gil los llama 'problemas abiertos' y Garret los denomina 'verdaderos problemas'.

La resolución de ejercicios (entendidos como problemas cerrados, es decir, problemas que contienen en su enunciado todos los datos necesarios para su resolución y con una única respuesta correcta), ha sido, y sigue siendo, ampliamente utilizada en las aulas, (ya sea como método de afianzamiento de la teoría explicada o incluso como instrumento para evaluar la

comprensión de esa teoría). Sin embargo, los problemas abiertos llevados a cabo como investigación no parecen tener aún una difusión real en la enseñanza, sino que parecen estar en fase de investigación didáctica (Ibáñez Orcajo, 2003), para la comprobación de beneficios en el aprendizaje científico (Bárcena Orbe, 1993; De Pro y Ezquerro, 2005; Fernández-González, 2008; Ibáñez Orcajo, 2003; Martínez Aznar, 1990; Merino y Herrero, 2007; Varela, 2001) y asimilación dentro del cuerpo de conocimiento profesional en algunos modelos didácticos.

Sin duda existe un amplio consenso en reconocer que uno de los fines educativos deseables en cualquier institución educativa, es la preparación de los estudiantes para que sean capaces de resolver gran parte de los problemas que surgen, no sólo en las asignaturas que estudian, sino también los problemas de la vida cotidiana cada vez más dependiente de la tecnología (Campanario y Otero, 2000; Furió Mas, Iturbe Barrenetxea y Reyes Martín, 1994; Jiménez-Liso, Sánchez y De Manuel, 2002; Jiménez-Liso y De Manuel, 2009; Oliva y Matos, 1999; Perales y Cañal, 2000; Sánchez y Flores, 2004; Sánchez, 2007, 2009).

Esos problemas cotidianos se acercan más a las situaciones problemáticas abiertas que a los ejercicios tradicionales (Cañal y Porlán, 1987; Gallego, 2007; Jiménez-Liso y De Manuel, 2009; Manrique Del Campo, 1995; Membiela, 2001; Pedrinacci, 2006; Tárraga, Bechtold y Pro, 2007). Éste parece ya, de por sí, un argumento suficientemente consistente para considerar la importancia que la resolución de situaciones problemáticas abiertas debe tener en la enseñanza de las ciencias.

Otro aspecto a considerar es el momento de la enseñanza en que se resuelven las situaciones problemáticas en el aula. A este respecto, los distintos investigadores han expuesto el interés que presenta en el aprendizaje la resolución de estas situaciones inmersas en el propio proceso de enseñanza-aprendizaje. Estas situaciones sirven, entre otras cosas, como un proceso de construcción entre la teoría y la práctica –que aparecen

---

perfectamente interrelacionadas y mediando una sobre otra- hasta el punto que se argumenta destruir la distinción entre ambas (Gil Pérez y Valdés Castro, 1996).

Caballer y Oñorbe (1997) hacen referencia a que bajo el término resolución de problemas, se esconden gran variedad de tareas como problemas-cuestiones, problemas-ejercicios y problemas investigaciones.

En investigaciones en el campo de la psicología, como la de Rodrigo (1994), al hablar de construcción del conocimiento, se considera que la misma es muy diferente en la calle que la realizada por el científico. Así, la resolución de problemas que realiza un individuo cualquiera, es hecha de forma no planificada o, por lo menos, sin una planificación integral, correspondiendo más a un proceso de ensayo y error, donde lo que importa realmente es la solución final que se obtenga más que el cómo se obtiene. En general, el proceso se sigue en función de las teorías implícitas de quien resuelve.

De forma análoga, los investigadores en didáctica plantean que en la vida cotidiana se resuelven los problemas con el único fin de obtener una solución, mientras que al pasar al contexto educativo deja de ser importante dicho resultado y el proceso de resolución pasa a ser lo sustancial (Dumas-Carré, 1987; Goffard, 1990; Jiménez, 1992; Perales Palacios, 1993). En esta línea, Garret (1988, 1989) plantea, al clasificar los problemas en puzzles cerrados, puzzles abiertos y problemas, que en la vida diaria se plantean numerosos puzzles abiertos, para los cuales se busca la mejor solución posible en las condiciones del momento (a lo cual llama "resolución"). Sostiene que, en el caso de puzzles cerrados, resolver es aplicar un algoritmo conocido que conduce a la solución. Para un puzzle abierto, no se conoce el proceso a seguir, se necesita buscar información que permita encontrar la mejor solución, que no tiene por qué ser definitiva y para lo cual se sigue un conjunto de reglas o heurísticos. Para el caso de un problema no se tiene respuesta, ni algoritmo ni heurístico que permita obtenerla.

Distintos autores (Carrascosa, Gil Pérez y Vilches, 2006; Ibañez Orcajo y Martínez Arnaz, 2005; Martínez Aznar, Bárcena, Ibañez y Varela, 2001; Villarreal Hernández, Salcedo Torres, Colmenares, Moreno y Rivera Rodríguez, 2005) que han investigado en resolución de problemas proponen modelos de resolución, que se puede denominar como de investigación, con procedimientos que se asemejan a lo que se considera el modo de proceder en la ciencia. Lo presentan como una alternativa para el desarrollo de desempeños más complejos y creativos frente a la resolución de problemas cerrados, en la que el alumno se limita a aplicar procedimientos conocidos y aprendidos, fundamentalmente de tipo matemático, que llevan a la obtención de la solución.

En esta línea, Gil Pérez (1993) y Ramírez Castro, Gil Pérez y Martínez Torregrosa (1994) fundamentan el modelo de resolución de problemas por investigación, considerando que el alumno sigue pasos que se acercan al trabajo de un científico novel: partir de un problema, acotarlo, emitir hipótesis, buscar formas de dar respuesta a las mismas, etc. Aunque esta forma de proceder se planteaba únicamente para los denominados "problemas de lápiz y papel", en posteriores trabajos (Gil Pérez y Valdés Castro, 1996) unifican la resolución de estos problemas con la realización de trabajos prácticos, llevando a cabo los alumnos un proceso que incluye partir de situaciones problemáticas abiertas, reflexionar sobre el interés de las mismas, potenciar el análisis cualitativo de esas situaciones, plantear hipótesis, elaborar diseños que permitan dar respuesta a esas hipótesis, analizar los resultados obtenidos, reflexionar sobre el proceso llevado a cabo, etc.

Otros autores que siguen esta misma línea de investigación son Perales Palacios (1993) y Martínez Aznar (1990). El primero habla de resolución como "del proceso seguido para clarificar el problema planteado, implicando dicha resolución la aplicación de conocimientos y procedimientos y de un

---

aprendizaje por parte de quien resuelve" (Cabrera Rodríguez y Bordas Alsina, 2003, p.29).

La segunda considera la resolución de problemas como:

"un método tanto de pensamiento como de aprendizaje en sentido general y no exclusivamente en la enseñanza de las ciencias. La resolución puede ir desde la aplicación de procedimientos conocidos a que quien resuelva tenga que idear, diseñar procedimientos o métodos de trabajo para dar respuesta a la pregunta." (Cabrera Rodríguez y Bordas Alsina, 2003, p.29).

Furió Mas, Iturbe Barrenetxea y Reyes Martín (1994) interpretan que "si la ciencia es un proceso de resolución de problemas en el que se producen conocimientos mediante la búsqueda de soluciones a problemas, la resolución de problemas en el aula es coherente con esta idea." (p.189).

El papel que sigue el docente en estos modelos de resolución por investigación, está poco especificado. Generalmente se expone que éste debe adoptar un papel de 'director de la investigación', guiando a los estudiantes en la realización de la misma y favoreciendo aspectos como: plantear situaciones de interés para el estudiante, facilitar e inducir los momentos de reflexión, ordenar el desarrollo de los distintos pasos, etc.

Así, Martínez Aznar (1990) considera que "el profesor debe proporcionar a los alumnos las herramientas y las guías para seguir adelante ayudando a los alumnos a progresar en la adquisición de conocimientos y en el logro de diferentes habilidades." (p.40).

Dentro de esta línea de estudios, se reconoce que es el estudiante quien realiza el proceso de resolución, guiado por el profesor. Al respecto cabe indicar que esta tarea depende del grado de autonomía que el docente quiere dar a los estudiantes (Caamaño, 1992; Rodríguez, Moreno, Elortegui y Fernández, 1996).

La resolución de ejercicios ha sido durante mucho tiempo uno de los aspectos básicos en el desarrollo de la enseñanza de las ciencias, ya que se concebía como una herramienta para conocer la comprensión, por parte del alumnado, de los distintos conceptos explicados y también de la aplicación de los mismos. Estos aspectos han sido criticados y se ha mostrado que el fracaso en la resolución no necesariamente es debido a la falta de comprensión de la teoría, al igual que el éxito tampoco es indicador de dicha comprensión (Gil Pérez, Martínez Torregrosa, Ramírez, Dumas-Carre, Goffard y Pessoa, 1992).

Los autores que trabajan la resolución de situaciones problemáticas llevadas a cabo como investigación, han sido conscientes de sus limitaciones a la hora de proponer los modelos de resolución. De esta forma, se ha hecho bastante hincapié en la necesidad de comprobar la obtención de resultados positivos (Oñorbe y Sánchez, 1996). Así, en el campo de la resolución mediante problemas de lápiz y papel, se han mostrado numerosas ventajas didácticas (Ramírez Castro, Gil Pérez y Martínez Torregrosa, 1994):

- disminución del fracaso en la resolución;
- actitud más positiva de los alumnos hacia la ciencia y la resolución;
- aprendizajes significativos;
- valoración positiva de dicha metodología por el profesorado.

Por otra parte, los nuevos modelos educativos incluyen la educación en Ciencia, Tecnología y Sociedad, como aspecto fundamental, no sólo por la importancia del conocimiento de los conceptos utilizados por la misma -y que debido a su enorme interacción con la sociedad están teniendo cada vez más uso en la vida cotidiana-, sino por la necesidad de entrenar a los estudiantes en la resolución de problemas como parte de la alfabetización científica.

---

En ambas direcciones, la resolución de problemas abiertos supone un proceso de aprendizaje significativo de los conceptos y teorías científicas (Lopes y Costa, 1996; Garrett, 1988, 1989) y también un entrenamiento en habilidades que, sin duda, influyen en esa mejor resolución (Lock, 1990) tales como plantear hipótesis, poner en cuestión resultados, comparar entre resultados o soluciones, separar variables y elaborar modelos.

Al plantearse la resolución de un problema, el sujeto pone en juego una serie de habilidades o capacidades intrínsecas a la persona y de carácter general. En este sentido, la psicología provee de investigaciones que buscan conocer cuáles son estas habilidades, si existen diferencias notables entre expertos y novatos a la hora de resolver qué mecanismos cognitivos se ponen en juego en la resolución, etc. (Dufresne, Gerace, Hardiman and Mestre, 1992; Chi, Feltovich and Glaser 1981; Kindfield, 1994; Snyder, 2000).

Además, la resolución del problema lleva también aparejado el contexto en el que se resuelve y los conocimientos que aportan las distintas disciplinas y que sirven para su resolución. Así, quien resuelve usará herramientas propias de disciplinas como la física, la química, la matemática, la biología, la geología, etc.

En el contexto universitario de las carreras de ingeniería, la resolución de problemas en Física es un tema siempre presente en la enseñanza, ya sea como metodología aplicada, como objetivo a conseguir o, simplemente, como actividad puntual de fijación de conceptos. Desde el punto de vista de las relaciones que tiene lugar en el aula de Física, la resolución de problemas, implica la interacción entre alumnos y entre alumno y docente. En este sentido, disciplinas como la didáctica, la psicología o la sociología, aportan a la investigación en educación en Física. En especial, si se tienen en cuenta el modelo de resolución por investigación, que siguen los pasos proporcionados por las ciencias, se deben considerar las múltiples relaciones que surgen con la Epistemología, la Historia y la Filosofía de las Ciencias.

## 1.4. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

### 1.4.1. RELATIVO AL CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO

Gran parte de la Física Contemporánea y la Ingeniería se relaciona con los campos electromagnéticos. A comienzos del siglo XIX los físicos habían adquirido la costumbre de utilizar también en el dominio de la electricidad el modelo de 'acción a distancia', ya que trabajaban con la teoría de Coulomb que extendió a finales del siglo anterior la mecánica newtoniana a este dominio. Sin embargo, nuevos hechos experimentales se explicaban mediante mecanismos interactivos diferentes a la acción a distancia.

Por ejemplo, la conversión de la fuerza eléctrica en fuerza química se empleaba para justificar por qué la electricidad podría descomponer sustancias químicas. Finalmente Oersted, con sus experiencias, no dejó dudas sobre las vinculaciones entre electricidad y magnetismo, estableciendo una relación entre fuerzas que no contenía el esquema newtoniano.

Faraday fue el primero en sugerir que la acción a distancia resultaba inadecuada para dar cuenta de las interacciones eléctricas y magnéticas. A partir de su descubrimiento de la inducción magnética, fundamenta empíricamente su concepción de la materia y construye su teoría de las líneas de campo. La concepción del mundo de Faraday puede resumirse diciendo que:

"... la fuerza es una propiedad universal que se extiende a lo largo del espacio; a cada punto del campo de fuerza se le asocia una intensidad y una dirección. De forma que, según sea la intensidad y la dirección de la fuerza, el punto de fuerza hará que los puntos vecinos se muevan. Por lo tanto, todos los puntos del sistema interactúan con sus vecinos, dando lugar a todas las posibles distribuciones de fuerza y vibraciones de ésta" (Berkson, 1974 cit. en Furió y Guisasola, 1997, p.147).

---

El modelo que presenta Faraday en 1839 en sus *Experimental Researches in Electricity* se basa en dos ideas claves: (a) la acción de un cuerpo cargado sobre otro separado una cierta distancia requiere un determinado tiempo y (b) la acción se trasmite por medio de la perturbación de cada parte del campo sobre la contigua.

Durante la segunda mitad del siglo XIX, se introdujeron en la Física ideas nuevas, revolucionarias, que abrieron el camino a un nuevo punto de vista filosófico, distinto del anterior de base mecánica. Los resultados de los trabajos de Faraday, Maxwell y Hertz condujeron al desenvolvimiento de la Física Moderna, a la creación de nuevos conceptos que constituyen un nuevo modelo de la realidad.

Focalizando la cuestión en el ámbito del conocimiento físico, se puede establecer que los principales problemas cuya solución supuso un avance significativo en la construcción de los modelos conceptuales relacionados con la electricidad y el magnetismo fueron:

- la búsqueda de explicación de los fenómenos triboeléctricos (electrización de los cuerpos por frotamiento). Condujo a la hipótesis general que considera que la materia posee cargas aunque aparentemente se presente como neutra. La representación mental de esta propiedad como un halo fue superada por la imagen sustancialista de dos fluidos especiales que poseían los cuerpos (modelo hidrostático de carga de Franklin formulado en 1747);
- la profundización en el estudio cuantitativo de las interacciones entre las cargas eléctricas. Su fundamentación analógica desde la mecánica newtoniana permitió consolidar la hipótesis general de carga eléctrica y definirla operativamente con la expresión incorporada por Coulomb en 1785);
- el problema de la transmisión de la interacción eléctrica a través de un medio. Mostró la insuficiencia del modelo hidrostático de la carga,

permitiendo un salto cualitativo importante. Esto condujo a la introducción de la teoría de campo, esbozada por Faraday en 1846 y, posteriormente en 1864, a la síntesis y formalización representada por las ecuaciones de Maxwell.

El concepto de campo culmina un programa de investigación dirigido a superar debilidades del modelo de acción a distancia. Unifica, además, los marcos teóricos de la electricidad y el magnetismo. Es preciso resaltar que el salto cualitativo que supuso el paso de la electricidad coulombiana a la electricidad maxwelliana fue debido, fundamentalmente, al cambio ontológico que se dio en la primera mitad del siglo XIX respecto a nuevas formas de concebir la carga eléctrica y la interacción entre cuerpos cargados (Knight, 1986). En efecto, se evoluciona desde la visión newtoniana -la materia y el espacio se consideran entidades separadas, absolutas e independientes-, que había servido de marco filosófico en la definición coulombiana de interacción eléctrica, hacia la visión cosmológica de tradición cartesiana -la materia y el espacio se presentan como inseparables-. El esfuerzo de imaginación puesto de manifiesto al visualizar la interacción eléctrica en el medio facilitó la construcción de una teoría que unificaría las interacciones electromagnéticas (Thuillier, 1989), teoría que se concretó con la introducción del concepto de campo de fuerzas.

#### **1.4.2. RELATIVO A LA RESOLUCION DE PROBLEMAS DE CAMPO ELÉCTRICO**

La resolución de problemas reúne tareas extremadamente diversas según se ha establecido en el apartado 1.3. Durante las décadas de 1970 y 1980 las investigaciones estuvieron orientadas a caracterizar el conocimiento y habilidades que diferenciaban los comportamientos de los sujetos 'novatos' con respecto de quienes tenían un dominio en un área específica de conocimiento, es decir, los denominados 'expertos'. Estos estudios

---

contribuyeron significativamente para identificar las habilidades de dominio general (comunes a sujetos expertos en diferentes disciplinas y aún en actividades generales como juegos y puzzles) y las de dominio específico. Distintos trabajos dan cuenta de una síntesis de los resultados emergentes desde la investigación (Buteler y Gangoso, 2003; Cabral da Costa y Moreira, 2001, Cabral da Costa 2005; Fávero y Soares Gomes de Sousa, 2001; Gangoso, 1999b; Maloney, 1994; Perales Palacios, 1993).

Otros estudios muestran que las llamadas concepciones alternativas constituyen una red de creencias, verdaderas teorías alternativas, que se contraponen a las estructuras científicas aceptadas y que, por lo tanto, se constituyen en importantes barreras u obstáculos para el aprendizaje. McDermott (1993) y DiSessa (1990), entre otros, encuentran que estas estructuras de conocimiento alternativas se conforman con débiles patrones de asociación, formando estructuras difusas, a veces inclusive contradictorias entre sí y dependientes del contexto de aplicación.

McDermott y Shaffer (2001) exponen seis generalizaciones en enseñanza – aprendizaje que sintetizan los resultados de estas investigaciones:

1. La facilidad para resolver problemas cuantitativos estándares no es un criterio adecuado para evaluar el entendimiento práctico.
2. Frecuentemente las conexiones entre conceptos, representaciones formales y el mundo real son inexistentes después de instrucción tradicional.
3. Ciertas concepciones erróneas no son superadas con una instrucción tradicional. El acceder a niveles más avanzados de instrucción no necesariamente incrementa en nivel de entendimiento de los conceptos básicos.
4. La instrucción tradicional no promueve una estructura conceptual coherente.

5. El incremento en la capacidad de análisis y razonamiento no es el resultado de una instrucción tradicional.
6. Para la mayoría de los estudiantes la enseñanza basada en la exposición de contenidos es un modo ineficiente de instrucción.

La metodología de tutoriales (McDermott, y Shaffer, 2001) ha sido desarrollada por el Grupo de Educación de la Física que dirige McDermott para los cursos introductorios de Física que se dictan en la Universidad de Washington en Seattle (USA). Está basada en un extenso trabajo desarrollado en las últimas dos décadas sobre las dificultades características de aprendizaje de los diversos temas de la física general y el consecuente desarrollo de actividades (Tutoriales) para ayudar a los alumnos a vencer los distintos obstáculos de aprendizaje. Están diseñados para desarrollar la comprensión física de los temas y constan del tutorial propiamente dicho y de problemas para la casa (Ejercicios Complementarios).

Tacones, Ferguson-Hessler and Broekkamp (2001) han revisado investigaciones orientadas a la enseñanza. En los trabajos señalados se observa que, durante los últimos veinte años aparece la tendencia a enfocar la cuestión implicando tres fuentes diferentes y relacionadas: la naturaleza del problema, las características de la persona y el entorno de aprendizaje. Si bien se advierte que hay esfuerzos coordinados en la investigación, quedan todavía muchos aspectos abiertos a la discusión teórica, sustentadas por las pertinentes investigaciones. Uno de ellos está vinculado con las características de las tareas propuestas como problema, fuertemente ligadas a los objetivos planteados (Buteler y Gangoso, 2001, 2002; Massa, Sánchez, Llonch y D'Amico, 2000; Massa, D'Amico y Llonch, 2004). Los trabajos de Malone (2007) y el de Solaz-Portolés & San José (2007) se han abocado a la revisión de antecedentes relacionados con la investigación en resolución de problemas orientada a los procesos cognitivos desarrollados por los sujetos.

---

La línea de investigación centrada en la realización de trabajos prácticos como proceso de resolución de problema analiza los resultados obtenidos con esta perspectiva y su contribución al aprendizaje. Se plantea cuáles son los instrumentos que se consideran adecuados para la medición de dichos resultados y cómo se pueden establecer los criterios para elaborarlos, dado que se ha considerado como una de las causas de la falta de consenso a la hora de discernir si se obtienen ventajas didácticas con los trabajos prácticos (Miguens y Garrett, 1991).

También interviene con marcada relevancia en el estudio de la resolución de problema el lenguaje, ya que la misma lleva aparejada un proceso de comunicación. Distintos estudios han tratado la importancia del enunciado en la resolución de problemas (Gil Pérez, Martínez-Torregrosa y Senet, 1988; Langlois, Gréa y Viard, 1995; Sánchez Jiménez, 1995). En la última década es importante el aporte de la informática ya que son cada vez más los medios de este tipo utilizables en la enseñanza para abordar la resolución (Sierra, Fernández y Perales Palacios, 2000; Soderberg, 2003).

Algunos investigadores han apuntado a la falta de unanimidad, o al menos de aclaración, sobre lo que los términos 'problema' y 'trabajo práctico' significaban en las investigaciones. Así, tal y como se ha explicitado en los apartados anteriores, ambos fueron usados refiriéndose a múltiples actividades (completamente distintas unas de otras) y con fines u objetivos completamente diferentes (Barberá y Valdés, 1996; Garrett, 1995; Miguens y Garrett, 1991; Perales Palacios, 1993).

Para centrar estos conceptos se requiere reflexionar sobre qué se entiende por 'resolución de trabajos prácticos como problemas'. No cabe duda que las concepciones más tradicionales de los términos 'problema' y 'práctica' entrarían en conflicto, ya que problemas y prácticas son vistos como aspectos totalmente diferenciados y que no se mezclaban en el desarrollo en el aula. Por tanto, para situar la resolución de trabajos prácticos como

problema, se debe adoptar concepciones más cercanas a los problemas abiertos.

Ayuso y Banet (2002) plantean hasta qué punto la resolución de trabajos prácticos como problemas es interesante en la enseñanza. Especialmente en el campo estructurante del conocimiento biológico donde plantean la dicotomía entre resolución de problemas o realización de ejercicios, fundamentalmente en la enseñanza secundaria.

Como se ha señalado repetidamente, una de las mayores dificultades de los estudiantes en el aprendizaje de la Física reside en el aprendizaje significativo de los conceptos (Driver, 1986; McDermott, 1984; Viennot, 1996). Ello ha hecho que este aprendizaje sea una fuente constante de preocupación entre el profesorado y se haya convertido en una de las áreas prioritarias de investigación en la Enseñanza de la Física (Carrascosa y Gil, 1992; Wandersee, Mintzes & Novak, 1994). En particular, las dificultades de aprendizaje de las principales nociones de electricidad, tales como potencial eléctrico o intensidad de corriente eléctrica, están siendo investigadas extensamente en el nivel de la enseñanza secundaria. Sin embargo, estos trabajos se han centrado más en el dominio de la electrocinética y, en particular, en los circuitos eléctricos de corriente continua (Duit, 1999; 2004; Furió y Guisasola, 1998a y b; Pocoví y Hoyos, 2004; Tankersley & Mosca, 2003; Velazco y Salinas, 1999, 2001; Zubendi y Ceberio, 2005). Las dificultades de enseñanza y de aprendizaje encontradas en el campo de la electrocinética han llevado a plantearse diversas cuestiones en el campo de la electrostática. Así, han aparecido trabajos que investigan el problema de relacionar los conceptos estudiados en electrostática con su utilización posterior en electrodinámica (Benshegir & Closset, 1996; Eylon & Ganiel, 1990). Asimismo, otros trabajos de investigación consideran las dificultades de los estudiantes en el aprendizaje y utilización del concepto de campo eléctrico en Electrostática (Furió y Guisasola, 1998; Ranson, Tranströmer &

---

Viennot, 1994; Törnkvist, Pattersson & Tranströmer, 1993; Viennot & Rainson, 1992).

Algunos estudios didácticos han sido realizados sobre las dificultades de los estudiantes para interpretar fenómenos electrostáticos básicos como, por ejemplo, la electrización por frotamiento o la atracción de trocitos de papel por un cuerpo cargado. Las interpretaciones de estos fenómenos están relacionadas con conceptos básicos de electricidad como la naturaleza eléctrica de la materia y la inducción eléctrica. En efecto, las explicaciones dadas a la electrización de un dieléctrico por frotamiento se basan en aceptar previamente la existencia de cargas positivas y negativas en los cuerpos frotados y el transvase de cargas de uno a otro. Asimismo, la atracción a distancia de pequeños trozos de papel por el cuerpo cargado es explicada por la acción resultante de las fuerzas que ejerce la carga neta del cuerpo frotado sobre las cargas positivas y negativas separadas de los papelitos (inducción eléctrica).

Una clara comprensión de los conceptos mencionados es esencial si se quiere iniciar a los estudiantes en una visión científica de los fenómenos electrostáticos y de la electricidad. En este sentido, se entiende por visión científica la expuesta por la teoría clásica del electromagnetismo definida de acuerdo con las leyes de Maxwell, que es el marco teórico en el que se explican estos fenómenos para los primeros cursos universitarios (Chabay and Sherwood, 1995). El establecimiento de este marco teórico lleva a considerar el comportamiento de la materia frente a las interacciones eléctricas como uno de los prerrequisitos básicos en el estudio del electromagnetismo. Así pues, el estudio de las dificultades de los estudiantes ante los fenómenos electrostáticos básicos puede indicar las razones de posibles concepciones alternativas y dificultades en otros campos del electromagnetismo.

Los temas *diferencia de potencial* y *fuerza electromotriz* (fem) han sido tratados en diversos artículos de revistas científicas, tanto de física como de

enseñanza de la física (Pocoví y Hoyos, 2004). Por un lado, el interés en el tema radica en detalles de gran importancia en las definiciones de estos conceptos, que son muchas veces pasados por alto en la enseñanza de física básica y en los textos utilizados (De Jong, 1996; Jiménez Gómez & Fernández Durán, 1998; Page, 1977; Tankersley & Mosca, 2003; Varney & Fisher, 1980). Por otro lado, las investigaciones en enseñanza de la física han centrado su atención en las dificultades de aprendizaje relacionadas con estos conceptos. Estudios previos de Pocoví y Finley (2003) han demostrado que los estudiantes poseen dificultades en la comprensión de los conceptos de diferencia de potencial y fuerza electromotriz, dificultades inherentes a lo abstracto de los mismos. Estos estudios abarcan un amplio rango que incluye el análisis de las ideas previas que los estudiantes poseen acerca de la diferencia de potencial y fuerza electromotriz en circuitos simples y la correspondiente propuesta de estrategias para su enseñanza (Borges & Gilbert, 1999; Millar, 1991; Turley, 1994; Velazco & Salinas, 1999), los problemas epistemológicos en la enseñanza tradicional de estos conceptos (Furió y Guisasola, 1998b; Jiménez Gómez & Fernández Durán, 1998), las técnicas de resolución de problemas utilizadas por los alumnos (Mc Millan y Swadener, 1991), entre otros.

### **1.5. MOTIVACION DEL TRABAJO**

La ciencia y la técnica son resultantes de una interacción social en la que se generan, acumulan y utilizan conocimientos sistemáticamente. Este conocimiento es muy variado; una parte de él tiene utilidad directa, otra se halla codificada simbólicamente bajo forma de datos experimentales, formulaciones teóricas o soluciones prototípicas a problemas clásicos; otra parte es esencialmente tácita y asistemática y sólo se hace manifiesta mediante el trabajo cotidiano de quienes lo llevan a cabo.

---

Dado el perfil de las carreras de Ingeniería, un aspecto importante que se plantea es lograr un conocimiento equilibrado en áreas científicas, tecnológicas y de gestión, a fin de capacitar al estudiante para encarar actividades empresariales, de diseño de productos, de desarrollo de tecnologías o para responder con eficiencia y rapidez en tareas de control y/o mantenimiento de plantas industriales.

La rápida evolución de los mercados hace que el ingeniero deba cambiar su perfil varias veces durante su vida activa. Esto requiere una adecuada preparación para resolver problemas nuevos y continuar permanentemente con su formación. Consecuentemente, el ingeniero debe tener una fuerte formación en los principios básicos, con una estructura mental ágil, flexible y máxima capacidad para la resolución de problemas; de acuerdo con las pautas explicitadas por el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI, 1997) como criterio general para la formulación de los planes de estudio:

- desarrollar la capacidad de manejo de situaciones bajo incertidumbre, consolidando actitudes para la solución de problemas no tradicionales con predisposición a la adopción de soluciones bajo riesgo;
- potenciar la capacidad de abstracción y de reflexión crítica. No se pretende un ingeniero omnivalente ni orientado exclusivamente a la acción empresarial, se requiere una acción equilibrada para posibilitar la creatividad, generar respuestas a problemas nuevos, inesperados, no triviales.

Más recientemente la acreditación de las carreras de ingeniería hizo repensar la formación práctica de los profesionales ingenieros y su capacidad para resolver problemas tecnológicos. Es, entonces, indudable que la formación de grado debe atender al ejercicio permanente en técnicas de resolución de problemas con complejidad creciente. A través de ellas se desarrollarán actitudes y se ejercitará al alumno para definir y acotar

problemas, identificar variables relevantes, diseñar modelos, organizar estrategias, ejercitar técnicas diversas, tomar decisiones, adoptar esquemas de abordaje alternativos, analizar los alcances de los resultados obtenidos y desarrollar criterios de evaluación.

En este sentido, es de importancia reflexionar con profundidad sobre las estrategias de enseñanza orientadas a alcanzar pericia en la resolución de problemas durante el proceso de formación del ingeniero, de manera de ir articulando, progresiva, gradual e integradamente, criterios, enfoques y procedimientos desde las distintas asignaturas. Los cambios rápidos e incesantes del mundo de hoy, hacen que se modifiquen los requerimientos para la acreditación de las carreras de Ingeniería. Los planes de estudio deben respetar tanto los contenidos curriculares básicos como los criterios para regular la intensidad de la formación práctica. Por lo tanto, se deben estudiar los contenidos y las metodologías para proporcionar herramientas al futuro ingeniero que le permitan resolver situaciones problemáticas concretas, con una actitud positiva hacia la modelización de situaciones nuevas y complejas.

En especial, los cursos de Física básica universitaria ofrecen un espacio particularmente interesante para el aprendizaje de estructuras conceptuales y procedimientos para transitar desde situaciones concretas hacia modelizaciones de las mismas; para orientar diseños de dispositivos y proyectos; para producir explicaciones fundamentadas y predecir comportamientos. Ello requiere encarar investigaciones que estudien la efectividad de determinadas orientaciones didácticas destinadas a:

- contribuir a que el estudiante identifique, plantee y resuelva cuestiones relacionadas con elementos significativos de su entorno, utilizando estrategias progresivamente más sistemáticas y complejas, sustentadas en una modelización de la situación planteada;
- incorporar herramientas y conocimientos actualizados, satisfaciendo

---

demandas de la profesión;

- acercar el trabajo del alumno al del especialista desde los primeros cursos universitarios.

La Física básica universitaria incluye un vasto espectro de conocimientos correspondientes a la denominada Física Clásica y algunas aproximaciones a la Física Contemporánea relacionada con los procesos cuánticos y relativistas, según las necesidades de las especialidades. En ese contexto, este trabajo se ha enfocado sobre los fenómenos eléctricos y, específicamente, sobre las situaciones que están asociadas con el concepto de campo eléctrico.

Los docentes de los ciclos básicos universitarios comparten la idea de que el concepto de campo eléctrico representa un auténtico obstáculo para los estudiantes, fundamentalmente cuando ellos ponen en práctica sus conocimientos al resolver problemas. No es de extrañar que los estudiantes encuentren serias dificultades en la adquisición de este concepto teniendo en cuenta su grado de abstracción, el conjunto de significados previos sobre los que se organiza y cuestiones que pueden derivarse de una presentación acumulativa, acrítica y aproblemática de los mismos que obstruyen los procesos constructivos. Los aspectos vinculados con las metodologías y su relación con los procesos cognitivos de los estudiantes no son, por lo general, variables de análisis en los procesos de organización de los diseños curriculares en las carreras de Ingeniería, sobre todo cuando se intenta dar respuestas a dos aspectos contextuales adecuar las exigencias de formación profesional en un plazo reducido y demostrar eficiencia para propiciar el aprendizaje masivo de estudiantes con diferentes niveles previos (Alzugaray y Massa, 2009; Massa, Llonch y D'Amico, 2005; Yanitelli, Massa y Moreira, 2009; Sánchez, Massa y Rosolio, 2007; Yanitelli, Rosolio y Massa, 2007). Tales aspectos adquieren relevancia durante la implementación efectiva de los planes de estudio, transformándose en la problemática que deben resolver los docentes en el momento de articular las actividades de

enseñanza. Además, son fundamentales al definir los criterios de evaluación y al diseñar los instrumentos que permitan desarrollar las capacidades para la asociación, la síntesis, la formulación de interrogantes, el análisis crítico, la construcción de significados y la aplicación de los conocimientos elaborados.

La complejidad del proceso que acompaña la resolución de problemas se interpreta organizando su significado desde diferentes contextos que interactúan y se relacionan dinámicamente en los actos que se producen en el ámbito de las aulas. Es así como los aprendizajes ocurridos en el aula son una preocupación para la psicología educacional que explicita la concepción de problema como un crecimiento cognitivo del alumno (Ausubel, 1968). Esta concepción de aprendizaje se entrelaza con el lenguaje, que debe clarificar los significados haciéndolos más precisos y transferibles. Según Gumperz (1988) el lenguaje tiene un papel integral y operacional en la teoría y no meramente comunicativo, si se quiere ocupar de manera adecuada de los fenómenos lingüísticos dentro de la interacción en clase.

Bachelard (1974) afirma que para aprender ciencias es preciso hacer un cambio de cultura y de racionalidad, cambio que es inherente al aprendizaje científico. Es por eso que los hábitos intelectuales incorporados bloquean el proceso de construcción del nuevo conocimiento presentándose como un obstáculo epistemológico. Desde esta posición, se entiende que la didáctica opera para proporcionar un mapa, de modo de encaminar las actividades en el aula inteligentemente por entre las complejidades del fenómeno educativo.

Por otra parte, como docente-investigadora a cargo de un grupo de investigación en Educación en Ingeniería, la preocupación siempre es mejorar la enseñanza y el aprendizaje en el Ciclo General de Conocimientos Básicos. Desde su creación el Grupo de Investigación en Enseñanza de la Ingeniería (GIEDI) se ha consolidado, no sólo con la incorporación de docentes-investigadores nuevos sino en la gestación de actividades

---

académicas para el mejoramiento de la enseñanza-aprendizaje en la FRSF - UTN (concurrancia a Congresos, talleres, dictado de cursos de capacitación, publicación en revistas, etc.), la incorporaciones de becarios y pasantes así como docentes investigadores pertenecientes al distintos departamentos de las especialidades.

Los proyectos proponen integrar las actividades de docencia, investigación y desarrollo en el ámbito de la FRSF- UTN a través de la reelaboración, transferencia de conocimientos con el objetivo de contribuir al mejoramiento de la educación en ciencias básicas y materializar la enseñanza científica, desde el punto de vista de los contenidos, métodos y estrategias de aprendizaje, permitiendo hacer frente satisfactoriamente a un conjunto de desafíos tales como: la rapidez de los cambios en Ciencia y Tecnología, la complejidad e interdisciplinariedad que implican dichos cambios en la educación formal y la dimensión ética y social.

Los proyectos implementados dentro del grupo de investigación, están enfocados a analizar los contenidos conceptuales requeridos por las disciplinas obligatorias comunes a las carreras de Ingeniería del primer y segundo nivel correspondiente al Ciclo General de Conocimientos Básicos y su potencial uso en diferentes actividades interdisciplinarias e integradoras.

### **1.5.1. SIGNIFICADO DIDÁCTICO DE LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE CAMPO ELÉCTRICO**

La resolución de problemas constituye una excelente estrategia para la enseñanza y el aprendizaje del concepto de campo eléctrico (Bagno & Eylon, 1997; Furió y Guisasola, 2001). Las dificultades implícitas están vinculadas con la organización de estructuras que superan determinados problemas del modelo de acción a distancia como transmisión de las interacciones eléctricas a través del medio (Furió y Guisasola, 1999; Velazco y Salinas, 2001). El modelo de campo supone una nueva forma de

ver la interacción eléctrica, ya que se debe imaginar a ésta en ausencia de cargas testigo que la evidencien e introduciendo el concepto de energía potencial en el contexto de la teoría de campo. El concepto de campo, a su vez, provee bases teóricas tendientes a unificar las descripciones de los fenómenos eléctricos y magnéticos.

La modelización es una etapa importante en la resolución de un problema de campo eléctrico. Plantear en estos términos la situación problemática propuesta requiere de la intuición y de la creatividad. Una medida de la dificultad de este modelo la dio Maxwell en 1865 al referirse al carácter posicional del vector intensidad de campo eléctrico: "Al hablar de la intensidad del campo eléctrico resultante en un punto, no suponemos necesariamente que allí sea ejercida una fuerza, sino sólo que, si se coloca allí un cuerpo electrizado, actuará sobre él una fuerza proporcional a la carga del cuerpo" (Berkson, 1981, p.227).

Existen varias ideas creadas con la finalidad de ayudar a visualizar el comportamiento de los campos. La más difundida en los libros de texto y, tal vez la más abstracta, consiste en considerar a los campos como funciones matemáticas de la posición y del tiempo. Se da, así, una imagen vectorial del campo expresando la intensidad y la dirección en cada punto. (Algunas tentativas de representar el campo eléctrico mediante analogías, como ruedas de un engranaje o como tensiones de un material, han costado mucho esfuerzo a los físicos, siendo los resultados poco satisfactorios).

En las situaciones que requieren la aplicación de las leyes de la electricidad utilizando el concepto de campo, los alumnos deben trabajar, además, con dos propiedades importantes de los campos vectoriales: el flujo y la circulación a través de una curva cerrada imaginaria cualquiera. A menudo, las mismas se asumen como cuestiones matemáticas netas, no lográndose la comprensión de su significado físico. Por otra parte, así como el concepto de energía proporcionó un vínculo unificador a la interpretación de los

---

fenómenos mecánicos y térmicos, el concepto de campo suministró a la electricidad, el magnetismo, la gravedad y la luz un marco teórico común. Los dos conceptos, energía y campo, están íntimamente relacionados, y requieren un grado de abstracción importante para construir el significado de ese vínculo.

Siendo el concepto de campo eléctrico tan importante para la formación básica de los estudiantes, es deseable que su aprendizaje sea significativo (Llancaqueo, Caballero y Moreira, 2003; Moreira, 2000a y b; Moreira y Greca, 2003), es decir, constituir un proceso a través del cual una misma información se relaciona, de manera no arbitraria y sustantiva (no literal), con un aspecto relevante de la estructura cognitiva del individuo. En este proceso, la nueva información interacciona con una estructura de conocimiento especial, la cual Ausubel (1963) denomina concepto subsumidor, existente en la estructura cognitiva de quien aprende. De modo que el aprendizaje significativo se caracterizaría por la interacción entre aspectos específicos y relevantes de la estructura cognitiva y no una simple asociación.

Es probable también que las dificultades de los estudiantes en la formación de nuevos conceptos como el de campo eléctrico se deriven de dificultades de tipo epistemológicas y que, además, puedan coexistir en formas con diferentes significados, siendo la elección de uno de ellos dependiente del contexto en que se está trabajando (Linder, 1993). En referencia a esto último, Bachelard (1974) muestra cómo una sola posición filosófica es insuficiente para describir las diferentes maneras de razonar cuando se trata de explicar un concepto.

La resolución independiente de problemas es a menudo la única manera factible de probar si los estudiantes en realidad comprendieron significativamente (Ausubel y otros, 1991). De modo que la resolución de problemas se constituye, en este caso, en una actividad interesante para analizar las representaciones de los estudiantes y su evolución.

## 1.6. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

La experiencia como docente universitario ha permitido reconocer la permanente reiteración de fracasos de los estudiantes cuando resuelven problemas de examen, en los que el concepto de campo eléctrico tiene relevancia. Aún en casos de resolución satisfactoria, la fundamentación oral de las resoluciones muestra que, en muchos casos, se hace uso adecuado de estructuras formales pero sin otorgar un significado físico a los conceptos utilizados. A menudo queda la duda si responde a la activación de un esquema de resolución aplicado previamente en situaciones que el estudiante advierte como análoga.

Desde una posición constructivista se advierte la existencia de posibles concepciones que obstaculizan la organización del concepto de campo. Con el objeto de aproximar elementos que permitan caracterizar los obstáculos, en esta tesis se busca identificar la dependencia del rendimiento en la aplicación del concepto de campo eléctrico con el contenido en el cual se contextualiza el problema. Ello lleva a identificar y caracterizar en las tareas realizadas el significado asignado a los conceptos de campo, carga, fuerza eléctrica; a estudiar el modo en que se establece su relación con la situación problemática y, en correspondencia, la forma en que un estudiante se representa el sistema de estudio y el medio con los cuales interacciona (Massa y Mulhall, 1992).

Así, tomando en cuenta dificultades de los estudiantes, evidenciadas en las instancias de exámenes, en la comprensión del enunciado cuando resuelven problemas en los que el concepto de campo eléctrico tiene relevancia, interesó acercar elementos para responder algunas preguntas que surgieron como docente-investigador de la propia práctica, en el marco de investigaciones previas (Alzugaray y Massa, 2009; Alzugaray, 2009; Carreri, Marino y Alzugaray, 2006, 2007, 2009).

Las preguntas que orientaron una primera etapa de la investigación son:

- 
- ¿Qué perfil epistemológico define la comprensión de los enunciados de problemas de campo eléctrico y su enfoque de resolución?
  - ¿Qué tipo de problema favorece procesos de resolución para integrar el concepto de campo eléctrico en un perfil maxwelliano?
  - ¿Qué obstáculos inhiben la adecuada resolución de problemas que involucran el concepto de campo eléctrico en algunos estudiantes en el tiempo de cursado habitual? ¿Es un problema de comprensión o de carencias de procedimientos o de estrategias de resolución? ¿Qué relación guardan estos obstáculos con el enfoque didáctico en las clases prácticas donde se abordan la resolución de problemas?

Dos supuestos orientaron la investigación:

- las dificultades derivan de la existencia de posibles concepciones que obstaculizan la organización del concepto de campo eléctrico o de la comprensión del enunciado y la organización de los modelos en relación con las referencias contextuales ofrecidas;
- las dificultades de los estudiantes al resolver problemas de campo eléctrico son emergentes de una reducida atención prestada a los procesos de comprensión en los enfoques didácticos desarrollados por los docentes durante las clases prácticas en la formación universitaria.

Con el objeto de aproximar elementos que permitieran caracterizar tales dificultades, en esta tesis se buscó, en una primera etapa, identificar categorías de comprensión en función del contenido en el cual se contextualiza el problema, la relación con el concepto de campo eléctrico y las formalizaciones subyacentes, tanto en las actividades desarrolladas por los estudiantes como en las acciones desarrolladas por los docentes durante las clases de resolución de problemas. Para ello se adoptó como marco teórico la Teoría del Aprendizaje Significativo desde la Psicología Cognitiva. En una segunda etapa se diseñó y aplicó una intervención didáctica

tomando en cuenta la Teoría de los Modelos Mentales (Johnson-Laird, 1996) y la Teoría de los Campos Conceptuales (Vergnaud, 1990) porque conjuntamente ofrecen un marco de referencia que es consistente con los presupuestos expresados por Ausubel (Rodríguez Palmero, 2004).

### **1.7. OBJETIVOS**

Los siguientes objetivos generales orientaron el desarrollo de esta tesis

- Conocer los procesos que acompañan la comprensión de los enunciados de problemas de campo eléctrico que realizan estudiantes universitarios de Física Eléctrica y su relación con los procedimientos de resolución derivados.
- Implementar y evaluar una propuesta de intervención didáctica, centrada en estrategias de comprensión, para favorecer el proceso de resolución de problemas de campo eléctrico en los cursos de Física Básica.

### **1.8. REFERENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación se desarrolló con aportes emergentes de dos disciplinas: la Psicología Cognitiva y la Didáctica de las Ciencias.

En una primera etapa se ha tomado la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel por ser uno de los desarrollos que, con una posición constructivista, está claramente orientado hacia la enseñanza, con referencia explícita a otras variables instruccionales. La teoría de Ausubel, y ampliada por Novak, se ocupa específicamente de los procesos de aprendizaje y de la enseñanza de conceptos científicos a partir de aquellos

---

previamente formados en la vida cotidiana, constituyendo una de las primeras propuestas que tiene en cuenta los conocimientos previos de los aprendices. "Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un sólo principio, enunciaría éste: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averígüese y enséñese consecuentemente" (Ausubel y otros, 1991, p.77). Se la ha complementado con la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird para la interpretación de las representaciones que construye un sujeto de una situación problemática.

Para una segunda etapa se ha tomado como marco la teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud para la organización de una propuesta de intervención didáctica.

A continuación se señalan algunos aspectos centrales de las mismas.

Desde la Psicología Cognitiva, se ha planteado que las teorías de desarrollo conceptual, no eran satisfactorias porque partían de concepciones equivocadas del cambio en las nociones de un sujeto y, también, por la utilización de métodos inadecuados para su estudio. Desde las investigaciones en Didáctica de las Ciencias, los resultados de un número importante de estudios sobre experiencias didácticas para lograr que los alumnos adopten los conocimientos compartidos con la comunidad científica, han llevado a una revisión de los conceptos que definen las dos vertientes y a un acercamiento entre ambas.

Se supone ahora que el estudio de las representaciones internas puede permitir entender mejor los procesos de construcción y evolución de esas representaciones y encarar, entonces, desde el punto de vista educacional, la tarea de la facilitación del aprendizaje significativo en Ciencias.

De las varias formas representacionales propuestas por la Psicología Cognitiva, el constructo *modelo mental* (conjuntamente con los conceptos de modelo conceptual y modelización) es el que ha recibido la preferencia

de los investigadores en enseñanza de las Ciencias, tal como puede observarse a partir del número renovado de artículos publicados en revistas especializadas.

### **1.9. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

En la investigación se utilizó la integración paradigmática fundamentada por Bericat (cit. en Moreira, 2002a, p.47). Este autor argumenta que existen tres razones fundamentales para aplicar un diseño multimétodo en una investigación social: complementación, combinación y triangulación.

La complementación existe cuando, en el marco de un mismo estudio, se obtienen dos imágenes, una procedente de métodos de orientación cualitativa y otra de métodos de orientación cuantitativa. Se recurre a una estrategia de combinación para integrar subsidiariamente una metodología, sea cualitativa o cuantitativa, en la otra con el objeto de fortalecer su validez, compensando sus debilidades mediante la incorporación de informaciones que proceden de la aplicación de la otra metodología. Finalmente en la triangulación lo que se pretende es el solapamiento o convergencia de resultados, utilizando las dos metodologías para el estudio de un mismo aspecto de una realidad social.

Esta estrategia de integración metodológica permite indagar, analizar y comprender los procesos que se ejecutan durante la resolución de un problema en función de las perspectivas y los significados que tienen para las personas implicadas (Denzin y Lincoln, 1994; Moreira, 2002a; Rodríguez Gómez, Gil Flores y García Jiménez, 1996). El investigador ve el escenario y las personas desde una perspectiva holística, tratando de comprender a las personas dentro del marco de referencia de ellas mismas (Taylor y Bogdan, 1986). En función de la riqueza de datos emergentes se recurrió también al análisis estadístico descriptivo como complemento.

---

El estudio comprendió dos etapas diferenciadas, según se detalla en los apartados siguientes:

- Etapa I: destinada a la investigación de los procesos de comprensión de los enunciados de problemas de campo eléctrico y su resolución y las acciones desarrolladas por los docentes durante las clases en que se trabaja sobre la resolución de problemas de campo eléctrico y en actividades experimentales
- Etapa II: orientada al estudio evaluativo de una propuesta de intervención didáctica para orientar la comprensión de los enunciados de problemas promoviendo la modelización de las situaciones planteadas.

#### **1.9.1. Etapa I- Estudio preliminar del concepto de campo eléctrico en la resolución de problema**

Se desarrolló con un perfil descriptivo/comparativo, estudiando los procesos desarrollados durante la comprensión de enunciados de problemas de campo eléctrico y su resolución, identificando las dificultades y sesgos introducidas por los estudiantes.

El estudio se realizó en dos cursos de Física Eléctrica en el año 2007: uno correspondiente a la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) y otro equivalente que corresponde a la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad Regional Santa Fe (FRSF) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), compuestos por 15 y 45 estudiantes respectivamente. Ambos cursos estuvieron a cargo del mismo docente responsable.

En ambos cursos se trabajó en situación tanto de aprendizaje como de evaluación del concepto de campo eléctrico a través de la resolución de problemas, entendiendo que la misma corresponde a un proceso de conocimientos en acción.

La investigación se organizó en dos fases:

Fase I: se centró sobre el aprendizaje del concepto de campo eléctrico en el aula, orientada por las siguientes hipótesis:

**H1**: La comprensión que realizan los estudiantes de un problema vinculado con el concepto de campo eléctrico depende fuertemente del tipo de enunciado: textual, simbólico o gráfico; con dibujo figurativo, dibujo esquemático o gráficas funcionales; con datos numéricos, simbólicos o textuales; de contexto real o abstracto.

**H2**: La reducida utilización que realiza el docente de recursos orientados a la comprensión y representación de los enunciados de problemas relacionados con el concepto de campo eléctrico estimula la organización de representaciones débiles en contenido y en su resolución.

En esta fase se recurrió a la observación participativa de las clases (Goetz y Lecompte, 1988), por considerar que centra el interés de la investigación en el aprendizaje significativo por parte de los alumnos. Es más inclusiva que la etnografía o el estudio de caso y evita la connotación de definir a estos enfoques como esencialmente no cuantitativos. El estudio estuvo orientado a:

- a) obtener información sobre rasgos asociados con la problemática específica de la enseñanza y el aprendizaje del concepto de campo eléctrico en el aula, con el registro de la forma de participación del docente y de los alumnos durante la misma, la posible utilización de analogías para favorecer la construcción de significados, el uso de elementos multimediales y las estrategias empleadas para la recuperación de esquemas de trabajo previo;
- b) detectar tendencias en las organizaciones conceptuales y en los comportamientos procedimentales evidenciadas en las actuaciones de los estudiantes, para definir variables e indicadores de análisis;

---

c) identificar relaciones potenciales entre las variables definidas.

En particular, se analizaron las actuaciones de los docentes y de los estudiantes durante las clases prácticas de resolución de problemas, los procesos de comprensión de los enunciados de problemas y la resolución realizada de los mismos. Se focalizó, además, en la detección de palabras que resultaron claves desde la perspectiva del docente y del alumno, el uso de esquemas y dibujos como recurso para la comprensión.

En esta fase se recurrió a: la observación participante, los cuestionarios, el análisis de documentos escritos y las entrevistas no estructuradas.

Fase II: Se analizó el aprendizaje que los alumnos realizaron del concepto de campo eléctrico, focalizándose la investigación sobre las evaluaciones escritas de los alumnos que se presentaron a los exámenes en el año académico 2007 que incluye los exámenes de febrero-marzo de 2008. Las mismas fueron consideradas como instrumentos significativos sobre las que un docente define los criterios para establecer la existencia de aprendizaje. El modelo de la investigación se construyó según la literatura sobre resolución de problemas y fue ajustado mediante la experiencia de concepción, ejecución y evaluación de aprendizaje en el contexto del aula.

Cabe destacar que como tesista - investigadora carecía de decisión y control sobre la organización del instrumento en que se basaba la evaluación ya que mismo era elaborado por los docentes de la cátedra, no participando de su construcción en esta etapa. Desde este punto de vista, el diseño no es experimental, sino que responde a situaciones de contexto real en aula universitaria. Esto permitió utilizar como elemento de análisis las producciones escritas de los estudiantes teniendo en cuenta: la comprensión del enunciado y las características de la resolución.

En consecuencia, esto condicionó a aplicar técnicas de análisis del discurso escrito, efectuando posteriores correlaciones entre el lenguaje utilizado en los enunciados del problema y la resolución realizada por el alumno.

Así, se procedió a analizar los documentos escritos sobre tres ejes: el *enunciado* (como producto del docente para plantear la problemática y como objeto de comprensión para el estudiante); la *resolución* (como contexto en que el estudiante manifiesta el conocimiento sobre el concepto de campo eléctrico y su articulación en las estrategias utilizadas), y la *respuesta dada al problema* (como contexto global de interpretación y fundamentación por parte del estudiante).

Se recurrió a un diseño longitudinal de tendencia apelando al tratamiento de los datos mediante medidas de correlación, analizando las características de las resoluciones de los estudiantes que se presentaron a rendir exámenes parciales y finales en el período mencionado en la asignatura Física Eléctrica.

### **1.9.2. Etapa II- Propuesta de intervención didáctica: diseño, implementación e indagación evaluativa**

A partir de los datos obtenidos en la primera etapa, se diseñó una propuesta de intervención didáctica centrada en estrategias de comprensión de enunciados y en la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud. Se elaboraron materiales instruccionales pertinentes para su efectiva implementación durante el primer cuatrimestre del 2008.

Se trabajó con el docente a cargo del curso de Física Eléctrica de la FRSE - UTN a fin de capacitarlo para la aplicación de la propuesta didáctica. El desarrollo de la misma en el aula estuvo a cargo del docente capacitado, actuando la tesista como observadora. En momentos pre y post-clase, mantuvo reuniones con el docente a fin de realizar ajustes y discutir las situaciones de aula y trabajar junto a él en un proceso de evaluación

---

sustentado en la idea de evaluar para la comprensión del proceso educativo.

Se buscó ofrecer mecanismos de soporte para la identificación y clasificación conceptual de problemas y mejorar el registro de la actividad de los estudiantes y su análisis para favorecer la comprensión de los procesos de aprendizaje.

Para el procesamiento de la información se recurrió al análisis e interpretación de información utilizando técnicas del análisis del discurso para procesar información emergente de las grabaciones en audio de las clases y actuaciones en voz alta de los estudiantes al resolver problemas. En esta etapa se recurrió en forma complementaria a datos cuantitativos (cuadro de datos, gráficos, tablas y cuadros comparativos) organizados en siendo la información organizada en cuatro fases:

Fase I: Análisis del contenido en la comprensión de un texto científico

Fase II: Análisis de enunciados de situaciones problemáticas

Fase III: Análisis de enunciados de una guía de problemas

Fase IV: Trabajo Práctico utilizando software de simulación y autoevaluación

## **1.10. SÍNTESIS EXPLICATIVA DE LOS CAPÍTULOS CONSTITUTIVOS**

**CAPÍTULO 1:** Es de carácter introductorio. Se presenta una fundamentación de la problemática abordada, la motivación que llevó a la definición del problema de investigación y los objetivos establecidos para el desarrollo de la tesis. Se realiza, además, una descripción del estado del conocimiento en el área y de los lineamientos teóricos y metodológicos adoptados y una síntesis explicativa del desarrollo de la tesis de manera tal de ofrecer un panorama integral de la misma.

**CAPÍTULO 2:** Se presenta la posición histórica, epistemológica y teórica que se ha tomado como base para el trabajo. En este capítulo se desarrollan temáticas tales como: la naturaleza y características de una teoría física, el modelo en un esquema explicativo, el significado de lenguaje y de los enunciados.

**CAPÍTULO 3:** Se analizan las perspectivas teóricas relacionadas con la resolución de problemas en ciencias y, en particular, se desarrolla el enfoque teórico que sustenta la línea de investigación asumida en esta tesis.

**CAPÍTULO 4:** Se desarrolla el diseño metodológico de la investigación, los criterios de selección de la muestra y las relaciones entre las perspectivas cualitativas y cuantitativas puestas de manifiesto en la misma.

**CAPÍTULO 5:** Se presenta el procesamiento de la información y los resultados alcanzados obtenidos en relación con las hipótesis y cuestiones que animaron la investigación en la Etapa I (Fases I y II).

**CAPÍTULO 6:** Se detalla el procesamiento de la información y los resultados que corresponden la Etapa II, constituida por las fases I, II, III y IV. En el mismo se analiza la intervención didáctica en un curso de Física Eléctrica de la FRSF-UTN y la indagación evaluativa.

**CAPÍTULO 7:** Se exponen las conclusiones de las dos etapas analizadas en los capítulos 5 y 6, señalando posibles cuestiones y líneas de investigación que se derivan de la indagación realizada en esta tesis.

## **CAPÍTULO 2**

### **CAMPO ELÉCTRICO**

#### **FUNDAMENTOS HISTÓRICOS**

##### **2.1. INTRODUCCIÓN**

En el momento de enseñar *campo eléctrico* y dado sus dificultades, muchas veces los libros de textos habituales se limitan a explicar la fórmula de la intensidad de campo eléctrico, adhiriendo –más o menos concientemente- a una interpretación operacionista. Pero de esta manera se mutila el significado original de la idea de campo eléctrico, acuñada por Faraday en términos de una modelización visualizable e intuitiva y, por supuesto, se esconde la importante transformación que la idea de campo sufre con Maxwell.

En este capítulo se presenta un análisis del proceso histórico de construcción del concepto de campo eléctrico y se analiza el modelo de campo eléctrico en el contexto de la explicación científica.

## 2.2. EL CONTEXTO HISTÓRICO DE LA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA Y EL MODELO CIENTÍFICO

En la primera mitad del siglo XIX, las teorías de la física clásica trataban de presentar una descripción de la realidad física y explicar su evolución, sirviéndose siempre del marco del espacio y del tiempo, como contexto en el que acontecían los procesos de la vida cotidiana y de los fenómenos naturales. Su objetivo era establecer vínculos causales entre las variables que caracterizaban los fenómenos estudiados a fin de explicarlos y predecir futuros acontecimientos. Las representaciones teóricas que acompañaron su desarrollo se expresaban, desde los comienzos de la ciencia moderna, con el lenguaje preciso de la matemática. Evidentemente este lenguaje, por su propia naturaleza, presenta un carácter abstracto y formal, pero la mayoría de los científicos no ponía en duda el carácter concreto del mundo físico, cuyas fórmulas matemáticas sólo se proponían dar una descripción más o menos exacta.

El punto más importante que conviene señalar aquí es que los físicos contemporáneos han abandonado la idea de una teoría física como una teoría intuitiva. El ideal, que era disponer de un modelo imagen de la realidad, ya no es considerado como válido. Dar una explicación de los fenómenos físicos en un sector de la realidad física consiste, esencialmente, en darle un modelo explicativo en términos de las relaciones estructurales entre los conceptos y no sobre la base de ideas intuitivas que podrán estar asociadas a tales conceptos.

La explicación es un concepto clave en epistemología: explicar es valorizar en el plano de la significación. El concepto de explicación en el plano epistemológico corresponde al concepto de comprensión en el plano psicológico.

A menudo, las obras especializadas en Historia de las Ciencias se limitan a recordar la aparición y desarrollo histórico de las ideas que, en cierto

---

campo, se consideran hoy como científicas, pero silenciando el sistema coherente en el cual estaban integradas en cada época. Éste constituye el sistema científico de la época considerada, y fuera del cual, no se puede comprender correctamente la génesis de las ideas parciales que han tenido la fortuna de permanecer válidas hasta nuestros días.

La noción de un *sistema físico*, que se supone bien definido, implica que se puede distinguir sin ambigüedades lo que forma parte del sistema y lo que es exterior a él y se reconoce su identidad a lo largo del tiempo, aún cuando evoluciona y se transforma. La ciencia procede, por otra parte, abstrayendo del conjunto infinito de las propiedades del sistema un número finito y generalmente pequeño de propiedades características. Éstas constituyen las variables de *estado* del sistema. Este conjunto es completo en la medida en que reúna el número mínimo y necesario de propiedades que permite describir y/o explicar los fenómenos de interés. Así, dos grupos de convenciones constituyen un modelo abstracto llamado *sistema teórico* y que será el soporte y el objeto de una teoría científica. Una modificación de estas convenciones, constituirá otro sistema al que se aplicará otra teoría.

En el marco de este sistema teórico se introduce un espacio abstracto en el que cada punto corresponderá a un conjunto de valores de las variables características, en un instante determinado, es decir, define el estado del sistema. El mismo corresponde a un punto en el denominado *espacio de los estados del sistema* o *espacio de configuración*. La evolución del estado del sistema será representada por una línea en el espacio de configuración. Así, podemos esquematizar y considerar un cambio de estado que haga pasar de un estado inicial a uno final.

La Física adopta claramente una posición realista, según Halbwach (1971b, c.p. Colinvaux de Domínguez, 1992), con dos planos distintos. El primero es un plano ontogenético de la realidad: existe un mundo físico y objetos físicos reales, vinculados mediante interacciones y transformaciones que se operan independientemente del hombre, salvo el caso en que éste

intervenga como objeto físico y él mismo actúe sobre otros objetos físicos de forma específica. El otro plano, propio de la cognición, es el plano epistémico: "Las interacciones entre hombre y mundo físico hacen surgir en su campo de conciencia todo un continuo de sensaciones que, elaboradas por la inteligencia, constituyen el espíritu de una representación del mundo físico" (ib, p. 41).

La búsqueda de una explicación resulta en la construcción de un modelo que represente un hecho real. Así, si un sistema físico considerado se caracteriza por un cambio de estado, o en otras palabras, por la transformación de una situación inicial a una final en el plano de la experiencia, entonces el modelo epistémico que le corresponderá se modificará, también, a través de transformaciones teóricas.

Una explicación supone, entonces, que se establece una relación de representación, o correspondencia, entre realidad y modelo. En tal relación se debe expresar acuerdo, pasible de verificación, entre modelo y realidad, entre teoría y experimento. Esto constituye la característica de un modelo explicativo (García, 1977, en Piaget, 1977).

La distinción entre teoría y experiencia fundamenta y esclarece esas características: "los objetos intelectuales [...] son los únicos capaces de mantener relaciones rigurosas y formalizables [...]" (Halbwachs, 1973, p.95), en cuanto que los objetos materiales de la realidad física [...] son los únicos en garantizar la relación real o experimental (Colinvaux de Domínguez, 1992).

Según García (1973, c.p. en Colinvaux de Domínguez, 1992, p.114) "un modelo físico tiene funciones que unen variables por medio de operaciones lógico-matemáticas, en las cuales intervienen ciertas constantes, hay también esquemas deductivos que permiten transformar las funciones, relacionándolas y calcular sus valores".

---

De modo que el abordaje científico en Física, en su presupuesto explícito de realismo, pretende entonces que “sus modelos epistémicos describan exactamente cuanta posible conexión real exista en el plano ontológico; y en una conexión real que trata de retratar con una categoría de causalidad” (García, 1973, c.p. Colinvaux de Domínguez, 1992, p.114).

Un modelo teórico no se preocupa por conocer los objetos aislados, ya que focaliza las relaciones funcionales: constituye un sistema de relaciones que incluyen una interpretación precisa de los términos que en él intervienen. Tales relaciones son formuladas matemáticamente y, como consecuencia, el sistema de relaciones obedece a reglas formales de la matemática. El sistema de relaciones resulta, entonces, expresado mediante proposiciones lógicamente necesarias.

Sobre esta base una explicación física consiste en demostrar que un fenómeno dado es una consecuencia de leyes aceptadas y descansa sobre dos puntos esenciales:

- la necesidad inherente a todo esquema explicativo, en la medida en que se trata de una deducción lógica,
- la aceptabilidad de la teoría total, de la cual forman parte las leyes utilizadas en el esquema explicativo.

La explicación está esencialmente fundada sobre la construcción de modelos. Por una parte, comprende las relaciones internas entre los elementos abstractos de un modelo, con sus consecuencias lógico-matemáticas. Por otra, involucra las relaciones globales externas de enlace de un modelo con otros que constituyen la explicación científica. Esta situación epistemológica es común a todas las ciencias, pero tipos de modelos diferentes contribuyen sin duda a distinguirlos. En general, un modelo representa la situación real de manera incompleta, aproximada e inexacta, pero es más simple que ella.

A menudo se utilizan términos como representación o imágenes para describir las características de un modelo. Estos términos son entendidos en el sentido de conceptos clásicos sacados de la experiencia cotidiana. La palabra explicación es a menudo utilizada como significado de lo que puede llamarse modelos explicativos de los procesos físicos. Tal ha sido el caso de los modelos de acción a distancia y del átomo.

Por otra parte, también se olvida el contexto de investigación en el que surge un problema científico, entendido como marco referencial que pone en evidencia un problema epistemológico. De ahí que sea frecuente, desafortunadamente, observar en los libros de texto distorsiones en los significados atribuidos a conceptos por no tener en cuenta ni los contextos de indagación en los que originalmente se construyeron ni su evolución en los cambios contextuales teóricos que suceden en la historia.

En el caso de la introducción del concepto de campo eléctrico, en particular, es frecuente el olvido por enfatizar el salto cualitativo que supuso pasar de una visión ontológica de la interacción eléctrica confinada en la materia electrificada, sin tener en cuenta el medio, a otra más compleja donde se sigue admitiendo que la interacción existe entre los cuerpos cargados pero cuya existencia se imagina que va más allá de los límites de los mismos. En efecto, este cambio, que se inicia con Faraday, logra complementar la visión cosmológica newtoniana (donde la materia y el espacio se consideran entidades separadas, absolutas e independientes), que había servido de marco filosófico en la definición coulombiana de interacción eléctrica, con la visión cosmológica de tradición cartesiana donde la materia y el espacio se presentan como inseparables (Furió y Guisasola, 1997).

El esfuerzo de imaginación puesto de manifiesto al visualizar la interacción eléctrica en el medio (apoyada en la incipiente filosofía kantiana de fines del XVIII, superadora del empirismo y del racionalismo) facilitó la construcción de una teoría que pudiera explicar de manera unitaria las interacciones electromagnéticas (Thuillier, 1989), teoría que se concretó en la

---

introducción del concepto estructurante de *campo de fuerzas*. Sin embargo, una visión reduccionista de la naturaleza de la ciencia olvida la existencia de barreras epistemológicas que se han superado en el devenir histórico para poder avanzar en los conocimientos.

Con ello, probablemente, se dejan de lado dificultades que también pueden darse en los estudiantes (Astolfi, 1994). Por ejemplo, el programa de investigación que unificó las explicaciones de las diferentes interacciones eléctricas y magnéticas conocidas (Berkson, 1981), supuso un cambio ontológico radical respecto a la manera coulombiana de concebir la carga y la interacción eléctrica y, paralelamente, la investigación didáctica ha mostrado la resistencia que los estudiantes manifiestan a la hora de diferenciar fuerza eléctrica en un modelo coulombiano e intensidad de campo eléctrico en la teoría de campos (Furió, Guisasola y Zubimendi, 1998; Rainson, 1995; Raisosn, Transtromer, & Viennot, 1994)

### **2.3. ANTECEDENTES HISTÓRICOS EN EL ESTUDIO DE LA ELECTRICIDAD**

En la antigüedad los filósofos consideraban la "atracción a distancia" como algo oculto y con reminiscencia de la magia, llegando a imaginar que todo cuerpo electrizado emitía una especie de nube material o de efluvios que se extendían por el espacio y establecían contacto con los cuerpos atraídos. En 1600, esta idea que aún prevalecía fue adoptada por Gilbert (1544-1603) y a la luz de sus experimentos la estableció de un modo más concreto: representaba los efluvios a modo de varillas materiales que establecían una conexión rígida entre el cuerpo electrizado y los cuerpos que atraía. En el siglo y medio posterior a Gilbert, esta teoría sufrió modificaciones para explicar nuevos descubrimientos, pero la idea fundamental de efluvios

materiales continuaba prevaleciendo. La primera ruptura con esta idea se produjo a mitad del siglo XVIII.

Gilbert trató de establecer una división clara entre lo que denominara *efecto ámbar*<sup>1</sup> y magnetismo y para esto inventó el primer instrumento eléctrico llamado *versorium* (del latín *verso* que significa *girar*) (ver Fig. 2.1). Era un simple indicador de madera pivotado de modo que pudiera girar libremente. Cuando se colocaba un trozo de ámbar frotado cerca del indicador, éste giraba hacia el ámbar. En la antigüedad se había visto que sólo algunas sustancias presentaban el 'efecto ámbar'. El mineral azabache era un ejemplo. Gilbert con su nuevo instrumento, descubrió que la lista de sustancias y objetos que podían atraerse, cuando se frotaban, se extendía grandemente. Sin tener en cuenta opiniones anteriores decía:

“Pues no es sólo el ámbar y el azabache los que atraen pequeños cuerpos, sino también el diamante, el zafiro, el iris, el opal, la amatista, el berilio y el cristal. Posibilidad de atracción semejante se ve también que poseen el vidrio (especialmente cuando es claro y lúcido) y también piedras falsas hechas de vidrio o cristal, de vidrio de antimonio y de otros muchos tipos de espátos de las minas de Belemnita. Estas sustancias atraen plumas, piedra, tierra, aún también el agua y el aceite y todo lo que está sujeto a nuestros sentidos o es sólido; aunque algunos escribieron que el ámbar no atrae a otras cosas sino ramitas y ciertas plumas”. (Holton, 1952, p.498)

---

<sup>1</sup> Fue denominado así por cuanto se había observado que las varillas de ámbar frotadas adquirían la propiedad de atraer cuerpos muy livianos hacia ella.



**Figura 2.1.** Versorium o versorio de Gilbert (extraído de Holton, 1952, p.498)

Un nuevo mundo se abría a los experimentadores con el descubrimiento de las numerosas sustancias que eran capaces de atraer el versorium cuando se las frotaba.

Además Gilbert estableció un criterio para reconocer y clasificar materiales según su comportamiento al ser frotados. Así señaló que aquellas sustancias capaces de atraer cuando se las frotaba (exhibían el efecto ámbar) formaban una clase, a la que denominó 'eléctrica' (del griego *electrón*, nombre del ámbar) y proponía para aquellas sustancias que no atraían cuando se las frotaba el nombre de 'no eléctricas'. Estableció así un procedimiento para caracterizar el comportamiento eléctrico de un material.

La notable semejanza física de la mayoría de los cuerpos eléctricos decidió a Gilbert a pensar que todos ellos fueron originalmente fluidos, que se habían solidificado. Gilbert se opuso a la idea de que existía una 'simpatía' entre cuerpos eléctricos y los que eran atraídos y, en lugar de esto, mantuvo la opinión de que todo cuerpo eléctrico emitía un efluvio cuando se le frotaba. Pero no opinaba como Lucrecio y Plutarco, que los efluvios pusiesen en movimiento el aire de su alrededor; sostuvo su diferencia argumentando que una llama mantenida cerca de un elemento eléctrico previamente frotado, no oscila como se podía esperar si el efluvio pusiese al aire en movimiento. Esto suponía una importante modificación del esquema conceptual: los efluvios habían de considerarse como una nube material en

reposo, alrededor del cuerpo eléctrico que establecía directamente contacto con los cuerpos atraídos.

“Los efluvios se extienden en todas direcciones son específicos y peculiares y diferentes, sui generis, del aire común; son generadores del humor, extraídos del cuerpo por el frotamiento, son varillas materiales- toman y levantan plumas, limaduras, pequeños objetos, aunque sus fuerzas se gastan o disipan y entonces estos pequeños cuerpos, de nuevo libres, son atraídos por la tierra y caen.” (Holton, 1952, p.498)

Aunque la teoría del efluvio de Gilbert para explicar las atracciones eléctricas pronto necesitó modificaciones, proporcionó en su tiempo una base para posteriores investigaciones, lo cual es una de las importantes funciones que debe desempeñar una teoría. Sin embargo, una teoría también tiende a restringir ideas en una dirección determinada y la de Gilbert no fue una excepción. La explicación al fenómeno de la repulsión eléctrica, no podía explicarse en la teoría de Gilbert.

A comienzos del siglo XVIII, comenzaba a utilizarse la palabra *electricidad* o *virtud eléctrica* para designar a un cuerpo eléctrico frotado que tenía la propiedad de atraer o repeler cuerpos ligeros. En 1731, Stephen Gray comunicaba a la Royal Society, a través de uno de sus miembros, un notable descubrimiento que había hecho mientras experimentaba con un tubo de vidrio frotado en la oscuridad: se veían pequeñas chispas que pasaban del tubo de vidrio a un dedo, cuando se colocaba próximo a él. Pero razonaba: si el tubo de vidrio frotado hace que salten chispas hasta un cuerpo próximo, quizás le comunica también al mismo tiempo “virtud eléctrica”. Para comprobar esto, tomó un tubo de vidrio de unos 90 cm de largo y 2,54 cm de diámetro y colocó un corcho tapando uno de sus extremos para “evitar el polvo”. Como era un experimentador muy cuidadoso decidió comprobar si el corcho intervenía en la experiencia. Después de frotar el tubo vio que atraía a pequeñas plumas colocadas

---

cerca, exactamente igual que si sus extremos estuviesen abiertos. Colocando una pluma cerca del extremo cerrado, ésta se aproximaba hasta tocar el corcho y entonces era repelida, igual que si hubiera tocado la superficie del vidrio.

Era éste un fenómeno nuevo; el corcho no había sido frotado y, sin embargo, atraía la pluma lo cual indicaba que estaba también electrizado. Gray volcó todas sus energías en la exploración de este nuevo descubrimiento.

“Tomando una esfera de marfil de aproximadamente de 1 3/10 pulgada de diámetro, con un agujero que la atravesaba, la fijé [en uno de sus extremos] en un palito de madera, de unos 10 cm de largo. El otro extremo [del palito] lo introduje en el corcho que tapaba el tubo y frotando éste, vi que la esfera atraía y repelía una pluma con más vigor que lo hacía el corcho, pudiendo repetir sus atracciones y repulsiones muchas veces.

Entonces fijé la esfera por medio de un palito más largo, primero de 8 pulgadas y luego de 24 y encontré el mismo efecto.” (Holton, 1952, p.500)

Continuando estos experimentos, Gray reemplazó el palito de madera por otros de metal, de mayor longitud. Después para aumentar más la distancia, utilizó cuerdas para suspender la esfera del tubo que frotaba. Para poder aumentar la longitud de las cuerdas realizaba las experiencias en el balcón y aún planeaba subir a la parte superior de una catedral.

Después para lograr transmitir la ‘virtud eléctrica’ a distancias de 10 m, decidió utilizar la cuerda sujeta por un extremo al tubo y, por el otro, a un trozo de cuerda vertical atada a un clavo de una viga del techo. Pero el experimento falló completamente. Gray comentaba: “... saqué la conclusión de que cuando la virtud eléctrica llega a la cuerda que pendía de la viga, se

comunicaba a ésta; de modo que nada o muy poco llegaba a la esfera.” (Holton, 1952, p.501).

Un colaborador de Gray le propuso utilizar un hilo de seda como soporte de la línea principal de transmisión, por la que la ‘virtud eléctrica’ había de pasar. Esta modificación fue llevada a cabo y se logró transmitir ‘la virtud eléctrica’ por una línea de 87 m de longitud. Cuando se utilizó una longitud todavía mayor, los hilos de seda que sujetaban la línea se rompieron bajo el peso de ésta. Gray entonces utilizó alambres de latón como soportes y el experimento fracasó.

Entonces reconoció que lo que incidía en el proceso no era la delgadez del soporte, sino el material del que estaba hecho. Así, los experimentos se repitieron con hilos de seda, pero utilizando ahora muchos de ellos atados a una serie de ganchos en el suelo. De este modo pudo utilizar con éxito líneas de transmisión de 193 m y aún más largas. En términos actuales, habían llegado a reconocer que las sustancias pueden dividirse en dos categorías: *conductores eléctricos* (como el latón) y *no conductores* (como la seda).

La explicación de las observaciones de Gray fue dada por Charles Francois de Cisternay Dufay (1698-1739), científico francés y miembro correspondiente de la Royal Society de Londres, que se había interesado en la electricidad por la lectura de los artículos de Gray. Dufay señaló que las líneas de transmisión que daban resultado debían sujetarse por medio de los eléctricos de Gilbert y la línea debía ser preferiblemente un no eléctrico. Demostró también que todas las sustancias pueden electrizarse por frotamiento, con tal que la sustancia no se sostenga con la mano, sino por medio de un aislante, por ejemplo, un mango de vidrio o haciéndolo pender de un hilo de seda.

Gray había demostrado que la propiedad de atracción podía pasar de un cuerpo a otro. Dufay prosiguió en el estudio de la repulsión eléctrica. Como

---

otros antes que él, había advertido que un cuerpo atraído por un cuerpo electrizado, después de tocarlo quedaba también electrizado y entonces era repelido. Por esto pensó inicialmente que dos cuerpos electrizados debían repelerse siempre. Pero la fuerza entre dos cuerpos electrizados era una nueva materia de investigación y en posteriores experimentos Dufay vio que su primera hipótesis era sostenible, ya que dependía de las circunstancias, que dos cuerpos electrizados se repeliesen o se atrajesen. Por ejemplo, si dos trozos de vidrio se frotaban con un paño de seda entonces éstos se repelían. Igualmente dos trozos de ámbar frotados con una piel, mostraban la misma repulsión mutua. Pero si se colocaba cerca un trozo de vidrio frotado con un paño de seda y otro de ámbar frotado con una piel, se atarían uno a otro. Dufay proponía una nueva e importante hipótesis para explicar estos fenómenos:

“...es que hay dos electricidades, muy diferentes una de otra: a una de ellas la llamo electricidad vítrea, a la otra electricidad resinosa. La primera es la del vidrio [frotado], cristal de roca, piedras preciosas, pelos de animales, lana y la de muchos otros cuerpos. La segunda es la del ámbar [frotado], goma laca, seda, papel y gran número de otras sustancias.

La característica de estas dos electricidades es que un cuerpo con electricidad vítrea, digamos, repele a todos los que tienen una misma clase de electricidad y por el contrario, atrae a todos los de electricidad resinosa.” (Holton, 1952, p.502).

Dufay explicaba la atracción y repulsión eléctrica por torbellinos de efluvios que rodeaban a los cuerpos electrizados y que estos torbellinos al interactuar unos con otros obligaban a moverse a los cuerpos con ellos asociados. Esta hipótesis era una extensión de la de Gilbert y también de la teoría de los torbellinos de Descartes en mecánica (que aún continuaba en Francia, aunque fue abandonada por la ‘acción a distancia’ de la mecánica newtoniana). De hecho, la idea de los efluvios comenzó a decaer cuando la

atención de los investigadores se concentró en el estado de los cuerpos electrizados más que en la región a su alrededor. Así, la teoría de los torbellinos de Dufay influyó poco en sus sucesores.

#### 2.4. LA TEORÍA DE LOS DOS FLUIDOS

Cuando Dufay hablaba de "dos electricidades distintas" se refería a dos estados de electrización, ni él ni Gray pensaron en la electricidad como algo distinto de una propiedad de la materia. Pero a mitad del siglo XVIII, el término adquirió un nuevo significado: la electricidad comenzó a ser pensada como una sustancia o un fluido que se suponía existía dentro de los cuerpos cuando se electrizaban. Los experimentos y el lenguaje tanto de Gray como de Dufay venían a reforzar estos significados. Por ejemplo, cuando un tubo de vidrio conectado con una línea de transmisión de 208 m se frotaba y el extremo de la línea quedaba electrizado, era difícil evitar la idea de que era debido a algún fluido que se desplazaba por la línea de transmisión. Además, las teorías de fluidos eran, en esa época, importantes y provechosas en otras ramas de la ciencia, por ejemplo, en las teorías del calórico y del flogisto.

En manos del abad Mollet (1700-1770), la hipótesis de Dufay se desarrolló en lo que se llamó teoría de los dos fluidos de electricidad, que postulaba la existencia de un 'fluido vítreo' y otro 'fluido resinoso', en la terminología de Dufay. Cuando se frotaba el ámbar contra una piel adquiría fluido resinoso y la piel el vítreo. Además se consideraba que todo cuerpo, antes de ser frotado, poseía igual cantidad de los dos fluidos y que el proceso de frotar causaba una transferencia de fluidos de igual en igual cantidad que dejaba al ámbar con un exceso de fluido resinoso y a la piel con un exceso de fluido vítreo. De este modo no había necesidad de pensar que los dos fluidos se

---

creasen, estaban ya en los cuerpos y simplemente al frotarlos se distribuían en forma distinta.

Finalmente añadiendo la hipótesis de que fluidos distintos se atraían y fluidos iguales se repelían, todos los fenómenos con los que los investigadores de entonces estaban familiarizados, podían explicarse. Por ejemplo, la razón de que un cuerpo no electrizado no ejerza fuerzas era debido a que las cantidades iguales de los fluidos estaban tan mezcladas que sus efectos se destruían y que, cuando un cuerpo atraído por el ámbar se ponía en contacto con él, adquiría algo del exceso del fluido resinoso del ámbar, por conducción y entonces el cuerpo y el ámbar se repelían.

Mientras se desarrollaban estas ideas, a mitad del siglo XVIII, la electricidad se hizo popular y los investigadores se esforzaban diligentemente en improvisar experimentos espectaculares, más parecidos a experiencias recreativas que a las que se desarrollan en actividades de investigación. Se pudo disponer de cargas eléctricas mayores por medio de generadores, consistente en un globo de vidrio que giraba rápidamente sometido a rozamiento y en contacto con la esfera, una línea de transmisión para conducir la carga desde el globo de vidrio a otros objetos. De ese modo se consiguieron efectos espectaculares y a menudo entretenidos.

Los estudiantes de algunas universidades se complacían en que el público se aglomerase detrás de sus asientos en las experiencias de cátedra. Se organizaron rápidamente cursos de conferencias experimentales. En ellas se exhibía una muchacha suspendida de un hilo de seda aislante y electrificada por estar conectada a un generador y se invitaba a un miembro de la audiencia a tocar su mano con el resultado de recibir una sacudida. Algún científico se quejó a la Physical Society de Danzing en 1757, de que los experimentos científicos aparecían en la prensa popular antes de ser presentados a la Society. En Alemania especialmente, se construyeron generadores de globos de vidrio giratorio y encontraron un buen mercado entre la gente que se divertía repitiendo los experimentos en sus casas.

Este interés popular no sólo estimuló y ayudó a financiar las investigaciones eléctricas sino que motivó grandes avances.

#### **2.4.1. TEORÍA DE FRANKLIN DE UN SOLO FLUIDO**

Los experimentos populares realizados en Boston por un conferencista ambulante, fueron los que llamaron la atención de Benjamín Franklin (1706-1790) hacia los fenómenos eléctricos. Una contribución importante suya fue la explicación de los fenómenos eléctricos en términos de un único fluido eléctrico. Esto fue aproximadamente en el tiempo en que Mollet desarrollaba la teoría de los dos fluidos.

La hipótesis de Franklin era que los cuerpos no electrizados contenían una cantidad definida 'normal' de un fluido eléctrico. Este fluido lo imaginaba constituido de partículas eléctricas que se repelían mutuamente, pero eran atraídas por las partículas de la materia ordinaria. La electrización consistía, bien en que el cuerpo adquiría una cantidad extra del fluido y quedaba electrizado positivamente o perdía parte de su cantidad normal quedando electrizado negativamente. Franklin consideraba que el vidrio cuando se frotaba con un paño de seda, arrancaba fluido de la seda y quedaba cargado positivamente mientras que la seda quedaba cargada negativamente. Para el proceso de conducción (cuando dos conductores se tocaban o se ponían suficientemente cerca para que saltase una chispa entre ellos, salvando el espacio de aire que los separaba) consideraba que si el conductor no estaba electrizado, recibía fluido de un conductor electrizado positivamente o cedía parte del suyo, si el otro estaba electrizado negativamente. En resumen se consideraba que el fluido iba de un cuerpo positivo a otro normal (neutro) o negativo o desde uno normal (neutro) a otro negativo. Esta convención para la dirección del flujo de cargas aún se usa hoy en día. Franklin había construido una terminología

---

propia para expresar sus ideas, ya que no conocía las denominaciones de Dufay de electricidad 'vítrea' y 'resinosa'.

#### **2.4.2. PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA CARGA**

La hipótesis de Franklin de que la cantidad de fluido eléctrico en cualquier cuerpo aislado permanece constante y que la electrización implica sólo una transferencia del fluido, fue quizás la primera exposición clara del postulado de conservación de la carga: *la carga eléctrica no puede crearse ni destruirse.*

La disputa de si había dos fluidos eléctricos o sólo uno no podía decidirse en aquel tiempo, cada investigador comenzó a adoptar el punto de vista que le resultaba más útil para sus fines. Se presenta aquí una situación común a toda la historia de la ciencia: las disputas de Ptolomeo y Copérnico en torno al movimiento de los planetas; y las discusiones sobre la teoría del calórico y sobre los modos del movimiento de las partículas constituyentes de los medios materiales. Pero en un punto en lo que la comunidad científica de la época estaba de acuerdo era el principio de conservación de la carga, que había surgido de las teorías del fluido eléctrico. Este principio se mantuvo como inalterable y aún hoy es considerado como uno de los postulados fundamentales de la electricidad. Es este principio el que hace de la carga eléctrica un concepto tan importante y que permite un estudio cuantitativo de los fenómenos eléctricos.

Los experimentos espectaculares y el interés popular, no podían ocultar enteramente el hecho de que la electricidad, como conocimiento científico, progresaba lentamente. El abate Mollet y Daniel Galath (1738-1809) se encontraban entre los que opinaban que no podían realizarse rápidos avances hasta que se establecieran algunas bases cuantitativas y relaciones matemáticas entre las magnitudes mensurables. Con este fin, Galath

comenzó a realizar medidas de las fuerzas eléctricas en diversas circunstancias y decía:

“Si alguien desea decirme que es demasiado pronto para medir las fuerzas eléctricas y desear un conocimiento matemático de ellas, puesto que ... [la teoría eléctrica ] no se ha desarrollado suficientemente y no se conoce bien el verdadero origen de la electricidad, respondería fácilmente a esa objeción. Pues si se piensa que la experiencia común y el conocimiento histórico reposan sobre una base matemática, se puede a menudo pasar sin... (la teoría). De hecho, difícilmente puede llegarse a esta seguridad si la primera no ha alcanzado ya todo su desarrollo. Todas las operaciones de la naturaleza tienen su grado determinado de fuerza; yo puedo investigar en esto, si lo considero exactamente, aún sin conocer nada acerca de la naturaleza del fenómeno... Cuando Galileo estableció la teoría matemática del movimiento de los cuerpos pesados, no se preocupó de cuál era el origen del peso...” (Holton, 1952, p.506).

Gralath se equivocaba en su creencia de que la falta de una teoría se desecha fácilmente. Había observado los efectos que las descargas eléctricas producen sobre los animales y esperaba poder medir la magnitud de la descarga. Con este propósito se habían realizado observaciones de la longitud de las chispas, pero el mismo creía que la fuerza de atracción entre los cuerpos electrizados proporcionaría un método de medida más preciso. Sin embargo, para diseñar sus experimentos necesitaba una hipótesis adecuada que lo guiase. Sus medidas aunque muy cuidadosas no dieron ningún resultado. Debía haber alguna base para seleccionar las magnitudes que se medirían para interpretar correctamente los resultados.

No existía aún ningún concepto eléctrico establecido cualitativamente. En tales circunstancias, debían guiarse por el desarrollo teórico de otra área de

---

la Física y que tratase fenómenos de características semejantes a las de la electricidad. Surgió entonces la especulación de que la electricidad y la gravitación, si bien reconocidos como fenómenos diferentes, tenían suficientes características en común para que se pudieran establecer como guía las relaciones cuantitativas de la mecánica newtoniana y que ellas condujeran a relaciones análogas para la electricidad.

## **2.5. LA LEY DE LA FUERZA ELÉCTRICA Y LA DISTANCIA**

La ley de atracción gravitatoria sugería naturalmente que la fuerza de atracción o repulsión entre los cuerpos electrizados, podría variar también con la inversa del cuadrado de la distancia entre los mismos. Por 1760, Bernoulli vio que éste era el caso, cuando colocaba un disco de metal electrizado paralelo y a distancias distintas de otro disco no electrizado y media la fuerza de atracción entre ellos. Este experimento suscitó aparentemente poco interés, sin embargo puede decirse que junto con el principio de conservación de la carga, marcó el comienzo del aspecto cuantitativo de la electricidad.

Una década más tarde, Joseph Priestley (1733–1804) llegó a la misma conclusión por diferente camino. Electrizó una copa metálica, colocada sobre una plataforma de madera seca, vio que si se suspendía un pequeño objeto de un hilo de seda y se colocaba cerca de la copa electrizada por su parte exterior, era atraída por ésta, pero si se suspendía el mismo objeto del hilo en el interior de la copa electrizada, no había indicación de que existiesen fuerzas sobre ella. Concluía:

“Podría inferir de este experimento que las atracciones eléctricas están sujetas a las mismas leyes de gravitación y varían de acuerdo al inverso del cuadrado de la distancia; puesto que se demuestra fácilmente que si la tierra estuviera

formada por una capa, un cuerpo en su interior no sería atraído hacia un lado más que hacia el otro.” (Holton, 1952, p.507).

Priestley se refería aquí a un teorema de los Principia de Newton: como consecuencia de ser la atracción de la gravedad inversa al cuadrado de la distancia, una capa esférica de materia de espesor uniforme no ejercía ninguna fuerza sobre un cuerpo colocado en el interior de la misma. Por supuesto, esto no constituía una prueba de que existiera una ley inversa del cuadrado de la distancia para las cargas eléctricas, pues aunque había notables semejanzas entre los fenómenos gravitatorios y eléctricos, también había diferencias que no habían sido aclaradas entonces. Pero, los razonamientos basados en analogías han dado excelentes frutos en muchos campos de la ciencia.

Henry Cavendish (1731–1810) había manifestado su creencia de que la relación entre la fuerza eléctrica y la distancia era, como en el caso gravitatorio, una ley inversa del cuadrado de la distancia. Por 1770, Cavendish reforzó su convicción con un experimento semejante al de Priestley, pero perfeccionado por el uso de una vasija conductora de forma esférica y completamente cerrada, estableciendo así una perfecta analogía con el caso gravitatorio. Cavendish, no hizo público los resultados de este descubrimiento y muchos otros, que permanecieron desconocidos hasta un siglo después, cuando la mayoría habían sido descubiertos por otros investigadores.

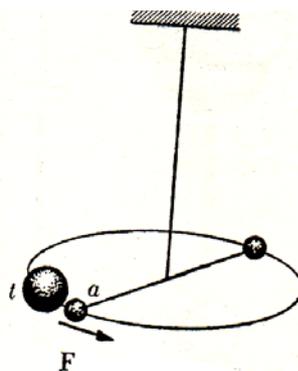
### **2.5.1. LOS EXPERIMENTOS DE COULOMB**

Los experimentos de Priestley y Cavendish habían demostrado de un modo indirecto la probable validez, para la fuerza eléctrica, de una ley inversa del cuadrado de la distancia, pero eran necesarios experimentos que proporcionasen una prueba directa, semejante a la de Bernoulli, pero realizados con partículas o esferas electrizadas, en lugar de discos. Esta

---

prueba directa fue realizada por Coulomb (1736–1806), quien construyó a tal efecto una balanza de torsión muy adecuada para medir fuerzas y distancias. La había diseñado en un principio para el estudio de las fuerzas elásticas de torsión en hilos metálicos. La balanza de Coulomb era tan sensible que podía medir fuerzas del orden de  $10^{-8}$  N.

Como se indica esquemáticamente en la Fig. 2.2, una varilla ligera horizontal de una sustancia poco conductora, lleva una pequeña esfera de médula  $a$  en un extremo y está suspendida por un hilo de metal o de seda, una segunda esfera de médula  $t$  se coloca fija en una posición próxima a la móvil. Cuando ambas esferas están cargadas con cargas del mismo signo, las esferas se repelen produciendo una rotación en la varilla horizontal hasta que el momento de torsión en el hilo de suspensión es suficiente para contrarrestar el efecto del momento de la fuerza de repulsión eléctrica. Como Coulomb sabía por sus primeros estudios de elasticidad, que el ángulo de torsión del hilo era directamente proporcional a la fuerza que la produce, entonces podía calcular la fuerza en la esfera que se encuentra en el extremo de la varilla horizontal a partir del ángulo girado.



**Figura 2.2.** Balanza de torsión (las esferas  $t$  y  $a$  tienen cargas del mismo signo)  
(extraído de Holton, 1952, p.509)

Después de muchas experiencias con las esferas cargadas con distintas cargas, Coulomb demostró que la intensidad de la fuerza  $F$  de repulsión

mutua varía inversamente con el cuadrado de la distancia de separación  $r$  entre las cargas  $F \sim 1/r^2$ . También demostró que la misma proporcionalidad era válida para las fuerzas de atracción entre cargas de distinto signo.

### 2.5.2. OCASO DE LA TEORÍA DE LOS EFLUVIOS: FARADAY Y EL CONCEPTO DE CAMPO

La primera ruptura con la idea de los efluvios se produjo a mitad del siglo XVIII. La teoría newtoniana de las fuerzas gravitatorias que actuaban a través del espacio vacío, había tenido una aceptación general. Franklin y sus sucesores imaginaban ahora el fluido eléctrico constituido por partículas eléctricas que permanecían en el cuerpo durante las atracciones y las repulsiones, sin recurrir a ningún medio material que partiera de los cuerpos. En lugar de esto se imaginaba que las partículas se ejercían fuerzas entre sí y sobre las partículas de otros cuerpos electrizados, a distancia, sin intercambio de ningún medio. Además, cuando se vio que la ley de la inversa del cuadrado era válida también para la electricidad, se pensó que debía existir alguna fuerza, aunque fuese muy pequeña, entre los cuerpos cargados a pesar de que éstos se encuentren muy separados. Este fenómeno era difícil de explicar por la interacción superpuesta de las supuestas nubes de efluvios emitidas por cuerpos electrizados.

Con el abandono de la teoría de los efluvios al final del siglo XVIII, los científicos consideraron que las fuerzas electrostáticas actuaban simplemente a través del espacio, sin más explicaciones. Pero esta imagen demostró ser tan poco convincente e inaceptable para algunos científicos de la época que fue reemplazada por una nueva idea debida principalmente a los trabajos de Michael Faraday.

Los primeros trabajos de Faraday fueron dentro del campo de la electroquímica, que pronto fueron abandonados en pos de investigaciones originales sobre electricidad. Su contribución más notable fue la

---

introducción del concepto de campo que aplicó a los fenómenos eléctricos y magnéticos.

Más de dos siglos antes, Gilbert había observado que las limaduras de hierro esparcidas sobre una mesa alrededor de un imán se disponían de un modo determinado; las limaduras se alinean según la dirección de la fuerza magnética en el punto en que se encuentran.

También ocurre que las limaduras de hierro esparcidos alrededor de un cuerpo electrizado toman posiciones determinadas. Estos fenómenos condujeron a Faraday a imaginar el espacio que rodea a un imán como si 'estuviese lleno de líneas de fuerza magnética' y de igual modo el espacio que rodea a un cuerpo electrizado, de 'líneas de fuerza eléctrica'. Para Faraday, estas líneas de fuerza existían realmente como estructuras mecánicas que podían ejercer fuerzas sobre cuerpos apropiados sumergidos en ellas. Pero la ecuación (1) que expresa la ley de Coulomb de la inversa del cuadrado no era suficiente; servía para calcular la fuerza eléctrica pero no explicaba su mecanismo.

$$\vec{F} = K.q_1q_2/r^2 .\vec{r} \quad (1)$$

donde  $q_1$  y  $q_2$  son las cargas de los cuerpos y  $r$  la distancia entre ellas.

Estas ideas recuerdan las 'varillas materiales' de Gilbert. Se podría decir que la teoría de Faraday es descendiente directa de la de los efluvios, pero con cambios importantes. No se consideran ya efluvios que parten o emanan de los cuerpos. En lugar de esto, es el medio existente entre las cargas eléctricas el que trasmite las fuerzas, llegando a la conclusión de que la acción a distancia se propaga a través de un medio continuo sentando las bases de la noción de campo, término que él acuñara.

En las décadas de 1830 y 1840 Faraday sostenía ya que las fuerzas eléctricas se transmitían entre las partículas de un medio y usó la noción de *líneas de fuerza* para representar geoméricamente la disposición de las fuerzas eléctricas y magnéticas en el espacio. En 1845, durante el

transcurso de sus investigaciones sobre el efecto magneto-óptico, llamó por primera vez *campo* a la región del espacio que hay entre los polos magnéticos, la cual está llena de líneas de fuerza –Faraday siempre entendió el campo como un espacio lleno de líneas de fuerza eléctricas o magnéticas–. Alrededor de 1850 el concepto de campo estaba bien establecido en la física británica (Harman, 1982), pero faltaba una explicación de su constitución física. Inicialmente Faraday dio al *campo* el significado de una distribución de fuerzas en el espacio; después utilizó este concepto para designar a las fuerzas como una propiedad mediadora del éter. Así mismo, concibió primero el éter constituido por partículas discretas que limitaban su acción a las contiguas y, más adelante, como un medio continuo o *plenum*.

La teoría postulada por Faraday resumía los hechos acumulados en el estudio de la electricidad, el magnetismo y la luz, descubriendo la relación entre los diversos fenómenos de la naturaleza que hasta entonces se analizaban aisladamente uno de otros.

Supongamos que una pequeña carga  $q$  se coloca en una región próxima a otras cargas. Las fuerzas que éstas ejercen sobre  $q$  puede calcularse con la expresión (1) con tal que se conozca la magnitud y signo de las cargas que intervienen y su posición respecto a la carga  $q$ . La fuerza resultante  $\mathbf{F}$  sobre  $q$  viene dada por la suma vectorial de las fuerzas individuales. Pero también se puede determinar esta fuerza resultante  $\mathbf{F}$  directamente sin necesidad de conocer acerca de la magnitud, signo y posiciones de las cargas responsables de las fuerzas individuales. Por eso se puede decir que dicha fuerza es una propiedad del punto particular del campo en que se ha colocado la carga  $q$ . De alguna manera si se mide la fuerza sobre la carga  $q$  y se representa gráficamente su valor para los distintos puntos del campo, se obtienen un mapa del campo en conjunto aunque no se sepa nada acerca de las cargas que lo han creado.

---

Particularmente Faraday, partiendo del análisis de los fenómenos de la conductibilidad eléctrica, de la influencia de los campos magnéticos sobre la luz, llegó a la conclusión de que entre los átomos debe existir materia, que los espacios vacíos como tales no existen. En su carta dirigida a Taylor, escribe que la luz y la electricidad son inapreciables instrumentos para el conocimiento humano de la estructura molecular de la materia. Según Faraday, los fenómenos de la conductibilidad eléctrica atestiguan que el tradicional enfoque atomístico, de acuerdo con el cual está vacío el espacio comprendido entre los átomos no resiste la crítica.

“... Si se admite que el concepto de la estructura de la materia dado anteriormente es correcto y si se me permite hablar de las partículas de la materia y del espacio comprendido entre ellas (por ejemplo, en el agua o en el vapor) como dos cosas distintas, entonces, este espacio hay que considerarlo como la única parte continua, ya que las partículas según se admite, están separadas unas de otras por el espacio. El espacio deberá atravesar la masa de la materia en todas las direcciones, de modo semejante a una red, con la sola diferencia de que en lugar de nudos forma células, aislando cada átomo del contiguo y siendo sólo continuo el espacio.” (Faraday, 1965, p.81).

Siguiendo con los escritos de Faraday, si se toma un cuerpo no conductor para su análisis, por ejemplo goma laca, se llega a la conclusión de que el espacio que atraviesa a la goma laca es aislante y tomando un cuerpo conductor cualquiera, se deduce que el espacio es conductor. Pero esto es una contradicción evidente, ya que tanto en el primero como en el segundo caso, los átomos de acuerdo con la concepción atomística, no están en contacto entre sí, por lo que sólo pueden efectuar una acción cualquiera a través de un espacio continuo, de propiedades idénticas tanto en los conductores como en los no conductores. Sin embargo, en el ejemplo que

se considera, resulta, según su concepción, que en un caso el espacio es conductor y en el otro no lo es. En relación con esto, Faraday llega a la conclusión de que la concepción atomista clásica del átomo y el vacío no es cierta, afirma que la materia existe en todas partes; tanto en los gases como en los cuerpos líquidos y sólidos, los átomos están en contacto unos con otros a través de un medio material.

“... Indudablemente, las distancias entre los centros de las fuerzas varían, pero lo constituye la esencia de la materia de un átomo se halla en contacto con la materia del que éste es vecino. Por lo tanto la materia es continua en todas partes y al considerar su masa no hay que admitir diferencias entre sus átomos y cualquier otro espacio intermedio.” (Faraday, 1971, p.67).

El análisis de la interacción entre los cuerpos, moléculas y átomos lleva a deducir que la materia llena totalmente el espacio, ya que la teoría de acción a distancia, es decir, las acciones remotas de los cuerpos, moléculas y átomos entre sí a través del espacio vacío, está en contradicción con la ley de la conservación y transformación de la energía.

Fatal para la teoría de la acción a distancia es el problema, por ejemplo, del lugar donde se encuentra la energía después de haber sido emitida por el cuerpo calefactor, pero antes de que haya llegado al que se trata de calentar.

“... La conservación de la fuerza- subrayaba Faraday- es actualmente una idea que se ha grabado profundamente en las inteligencias de las personas de pensamiento filosófico y yo creo que todas reconocen la imposibilidad de crear o destruir la fuerza, lo mismo que el crear o destruir materia” (Faraday, 1939, p. 262, c.p. Shugailin, 1962).

---

Esta misma idea de la conservación y transformación de la energía se ve en los trabajos de Maxwell, discípulo de Faraday. En el tratado sobre la electricidad y el magnetismo, al analizar las fórmulas de Ampere, Weber y Gauss sobre la interacción de las cargas eléctricas, Maxwell comprobó que respondían al principio de la conservación de la energía.

La fórmula de Gauss, que no está de acuerdo con la ley de la conservación de la energía, debe ser rechazada según opinión de Maxwell, "...ya que lleva a la conclusión de que la energía podría ser creada, hasta el infinito, mediante actos físicos en un sistema finito". Maxwell, llegó a la conclusión de que la acción a distancia se propaga a través de un medio continuo, que es el campo electromagnético.

"... La teoría que yo propongo puede ser denominada teoría del campo electromagnético, puesto que está ligada al espacio que rodea a los cuerpos eléctricos o magnéticos y puede ser llamada teoría dinámica, por cuanto admite que en este espacio existe una materia en movimiento, mediante la cual se producen los fenómenos electromagnéticos que se observan."  
(Maxwell, p. 620, c.p. Shugailin, 1962).

Como más adelante señaló Maxwell en *On Faraday's Lines of Force* (1855-56), las líneas de fuerza del espacio que rodea a un imán –las curvas magnéticas de Faraday– dan cuenta de la dirección de la fuerza del campo, pero no de su intensidad en cualquier punto. Para resolver esta cuestión, Maxwell elaboró un *modelo geométrico* del campo en el que imaginaba un fluido incompresible moviéndose por tubos formados por líneas de fuerza; de otra forma, consideró que las curvas magnéticas no eran líneas simples, sino tubos muy finos de sección variable que transportaban un fluido incompresible. De este modo, la dirección y la intensidad de la fuerza quedaban respectivamente representadas en cualquier punto del campo por la dirección e intensidad del fluido imaginario (Berkson, 1974).

## 2.6. LOS PILARES DE LA TEORÍA DEL CAMPO

La aparición y desarrollo de la teoría del campo, que vino a sustituir el concepto de éter o efluvios como medio material que ocupa todos los espacios vacíos, fue muy importante para el avance del electromagnetismo. La idea del campo fue incorporada a la ciencia por Faraday y Maxwell y desarrollada en los trabajos de Lorentz, Poynting, Thomson y otros científicos, hacia las últimas décadas del siglo XIX.

La teoría electromagnética de Faraday y Maxwell resumía los hechos acumulados en el estudio de la electricidad, el magnetismo y la luz, estableciendo la relación entre los diversos fenómenos de la naturaleza que hasta entonces se analizaban aisladamente unos de otros.

Maxwell desarrolló una teoría consecuente de los fenómenos electromagnéticos y dio forma matemática a las ideas de Faraday. Esto le permitió llegar a conclusiones importantes que la práctica habría de confirmar. En el prefacio al *Tratado sobre la electricidad y el magnetismo*, Maxwell escribía

“... Faraday veía líneas de fuerza que cruzan todo el espacio allí donde los matemáticos veían centros de fuerzas que se atraían a distancia; Faraday veía un medio allí donde éstos sólo veían distancia. Faraday suponía el manantial y la causa de los fenómenos en las acciones reales que se producían en el medio; éstos en cambio se conformaban con haberlos hallado en la fuerza de la acción a distancia que se atribuía a los fluidos eléctricos” (Holton, 1952, p.567).

La descripción cuantitativa, matemática, de las leyes del campo está sintetizada en las llamadas ecuaciones de Maxwell. Su forma simple disimula su profundidad. La formulación de estas ecuaciones es el acontecimiento más importante de la física, desde Newton, no sólo por la riqueza de su contenido sino porque aquellas representan un modelo o

---

patrón para un nuevo tipo de ley, ya que las ecuaciones de Maxwell son leyes que representan la estructura del campo.

En la mecánica, conociendo la posición y la velocidad de una partícula en un instante dado y las fuerzas actuantes, se puede calcular de antemano la trayectoria que describirá en el futuro dicha partícula. En la teoría de Maxwell, si conocemos el campo en un solo instante, se puede deducir de las ecuaciones cómo variará en el espacio y el tiempo, todo el campo. Las ecuaciones de Maxwell permiten seguir la historia del campo, así como las ecuaciones mecánicas permiten seguir la historia del movimiento de las partículas materiales cuando se desplazan a velocidades mucho menores que la de la luz.

Hay otra diferencia esencial entre las leyes mecánicas y las leyes de Maxwell. Una comparación entre la ley de la gravitación de Newton y las leyes del campo de Maxwell hará resaltar algunos de los caracteres distintivos de estas últimas.

En la teoría de Maxwell no hay actores materiales. Las ecuaciones matemáticas de esta teoría expresan las leyes que rigen el campo electromagnético. No relacionan, como las leyes de Newton, dos sucesos distantes, no reconocen la 'acción a distancia'. El campo 'aquí' y 'ahora' depende del campo inmediatamente vecino existente un instante anterior. Las ecuaciones permiten predecir lo que pasará un poco más allá de un cierto lugar en el espacio, un instante después, si conocemos lo que pasa 'ahora' y 'aquí'.

Esas ecuaciones permiten ampliar el conocimiento del campo paso a paso relacionando así por un gran número de pequeños pasos, fenómenos distantes, ocurridos en distintos tiempos. En cambio, en la teoría de Newton, la relación entre sucesos distantes se efectúa mediante pocos y grandes saltos. Los resultados de las experiencias de Faraday y Oersted pueden ser deducidos de las ecuaciones de Maxwell, pero tan sólo por la

suma o reunión de pequeños pasos o efectos a lo largo del conductor, cada uno de los cuales está determinado por las leyes electromagnéticas.

Un estudio matemático cuidadoso de las ecuaciones de Maxwell, muestra que es posible sacar de ellas conclusiones nuevas y realmente inesperadas. Estas teorías, a las que se llega por todo un encadenamiento lógico, son de carácter cuantitativo y permiten someter toda la teoría a una prueba decisiva.

Todo cambio de un campo eléctrico produce un campo magnético; toda variación de este último origina un campo eléctrico y así sucesivamente. Como el campo representa energía, estas variaciones al propagarse en el espacio con una velocidad determinada, produce una onda. Las líneas de fuerza eléctrica y magnética están siempre, según se deduce de la teoría, en planos perpendiculares a la dirección de propagación. La onda producida es transversal. Las características originales de la imagen del campo, según las experiencias de Oersted y Faraday son valideras pero tiene un significado más profundo.

La imagen de una onda electromagnética, desplazándose con una cierta velocidad en el espacio y variando en el tiempo, es una consecuencia de las ecuaciones de Maxwell, pues describen la estructura del campo electromagnético en todo punto del espacio y en todo instante.

Otro problema importante: ¿con qué velocidad se propaga la onda electromagnética en el vacío? La teoría, con experimentos sencillos, da una contestación precisa: la velocidad de una onda electromagnética es igual a la velocidad de la luz.

Las experiencias de Faraday y Oersted constituyeron la base sobre la que se edificaron las leyes de Maxwell. Todos los resultados obtenidos hasta el presente proceden del estudio cuidadoso de estas leyes expresadas en el lenguaje del campo.

---

## 2.7. DIFICULTADES DE APRENDIZAJE Y PROBLEMAS HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICOS

En esta tesis se analizan las dificultades en el aprendizaje del concepto de campo eléctrico, una clara comprensión de este concepto y otros relacionados como carga, fuerza eléctrica, potencial eléctrico, energía, es esencial para que los estudiantes tengan una visión científica de los fenómenos electrostáticos y de la electricidad. En este sentido se entiende lo expuesto por la teoría clásica del electromagnetismo, que es el marco desde el que se explican estos fenómenos en los cursos básicos en la universidad.

El estudio de las dificultades de los estudiantes ante los fenómenos electrostáticos básicos puede indicar las razones del fracaso en los ciclos básicos universitarios de Física Eléctrica

Furió y Guisasola (1998), Guisasola, Almundí y Zubimendi (2003) han señalado como dificultades más evidentes en la conceptualización de campo eléctrico  $E$  a: los deficientes conocimientos e interpretaciones del álgebra vectorial y de las representaciones gráficas y simbólicas, así como los diferentes niveles de pensamiento alcanzados por los estudiantes. También indican que las limitaciones de aprendizaje del concepto de  $E$  muestran que los estudiantes presentan fijaciones funcionales derivadas de informaciones recibidas a lo largo de la instrucción. En su estudio resaltan que cuando los estudiantes interpretan las interacciones electrostáticas, utilizan preferentemente el perfil conceptual coulombiano.

El hecho de que los estudiantes puedan tener distintas formas de representar una situación fue analizada por Bachelard en 1940 para definir lo que llamó el perfil epistemológico. Bachelard (1974) describe cómo una sola posición filosófica es insuficiente para describir distintos razonamientos para tratar de explicar un concepto y describe los componentes del perfil epistemológico del concepto de masa, que pueden coexistir en un individuo.

Estos estadios epistemológicos vienen caracterizados por un orden jerárquico de forma de que cada estadio sucesivo es de mayor poder explicativo que el anterior (Furió, Guisasola y Zubimendi, 1998).

Mortimer (1995) analiza los argumentos de Bachelard y propone que esas diferencias entre los estadios no son sólo epistemológicas sino ontológicas considerando que se trata de perfiles conceptuales. Su noción de perfil conceptual "presupone que un individuo puede tener diferentes visiones del mismo concepto, considerando que existen diferentes formas de ver y representar, al mismo tiempo, una realidad" (Ribeiro Amaral y Mortimer, 2004, p. 218).

Es importante resaltar que los saltos cualitativos que supuso el paso de los modelos explicativos pre-newtonianos (modelo de efluvios) a una teoría newtoniana de acción a distancia fueron debidos al cambio ontológico y epistemológico que se dio a finales del siglo XVIII.

La revisión realizada hasta aquí permite observar la existencia de problemas y dificultades que la comunidad científica tuvo que afrontar y cuyo estudio permitió ir construyendo la teoría de la Física clásica en electricidad. De modo que se puede asumir que las dificultades ontológicas y epistemológicas constituyen dificultades de aprendizaje en electrostática en estudiantes universitarios.

Desde el punto de vista del aprendizaje, el concepto de campo eléctrico requiere comprender que el vector intensidad de campo  $E$  sólo depende de la carga que crea el campo y no de las cargas sobre la que se ejerce la interacción, diferenciación neta entre los conceptos de intensidad de campo y fuerza eléctrica.

Además, demanda una concepción de campo eléctrico de acción paso a paso frente a una concepción coulombiana de acción a distancia y poseer un dominio de ciertos temas específicos de la Matemática que les permitan comprender y modelar los conceptos físicos involucrados. Para lograr esto

---

deben estar capacitados para distinguir entre magnitudes escalares y vectoriales, sus propiedades y operatorias.

## **2.8. SIGNIFICADO EPISTEMOLÓGICO DE LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS**

Bachelard (1974) sustenta que cuando se investigan las condiciones psicológicas del progreso de las ciencias se llega a la conclusión de que se debe plantear en términos de 'obstáculo'. Sostiene que el inconsciente del espíritu científico es la fuente de contra-pensamientos, basados en datos sensibles, poco diferenciados, implícitos, que dificultan la emergencia de valores racionales. Son estas resistencias lo que Bachelard denomina 'obstáculos epistemológicos'.

"... Un obstáculo epistemológico se incrusta en el conocimiento no formulado. Costumbres intelectuales que fueron útiles y sanas pueden, a la larga, trabar la investigación. Nuestro espíritu -dice justamente Bergson<sup>2</sup>- tiene una tendencia irresistible a considerar más claras las ideas que le son útiles más frecuentemente." (Bachelard, 1974, p.17).

Estos obstáculos tienen su origen en conocimientos subjetivos, que dificultan la posibilidad de construcción de conocimiento objetivo. Se refieren a aspectos intuitivos, inmediatos y sensibles, a experiencias iniciales, a conocimientos generales o pragmáticos, fundados en perspectivas filosóficas empiristas, sustancialistas y animistas; a intereses y opiniones de base efectiva. Son, por lo tanto, ideas impregnadas de contenido psicológico que se tornan muy resistentes al cambio (Moreira, 2002b).

---

<sup>2</sup> Bergson: *La Pensée et le Mouvant*, París, 1934, p.231.

Bachelard (1974) plantea el efecto de la experiencia inicial como obstáculo para otorgar sentido al problema propuesto. En el caso específico del aprendizaje, es esencial que los alumnos identifiquen el posible obstáculo asociado con su experiencia inicial para que avancen en el conocimiento. Es preciso tener conciencia de sus manifestaciones: anteponer la experiencia a la crítica; aceptar la naturaleza tal como se la ve y siente; procurar satisfacer la curiosidad buscando fenómenos variados. Identificadas algunas manifestaciones del obstáculo, se ha de hacer el movimiento epistemológico en sentido inverso, esto es, situar una experiencia en un juego múltiple de razones, ejercer sobre ella una crítica coherente a la luz de los conocimientos detentados y educar contra el impulso natural buscando la variación. Con este esfuerzo surgirán los problemas, no sólo uno sino varios e interrelacionados. Ellos pueden surgir de la observación pero también pueden ser planteados para conducir a la observación como posibilidad en la que es conveniente caminar progresivamente.

Desde la concepción bachelardiana el hecho de plantear un problema es fundamental para avanzar en el conocimiento. Análogamente, plantear problemas adecuados es fundamental para aprender. Se podría inferir de este autor que el sentido de problema adecuado en el contexto de enseñanza centrada en la resolución de problemas debe ser planteado de tal manera que a los alumnos no les parezca insoluble. Se debe trazar claramente la frontera entre lo conocido y lo desconocido, delimitando su contenido. Tal frontera ha de ser trazada por cada alumno en función de sus dificultades actuales y sus potenciales posibilidades para superarlas, siendo dicha frontera una de las maneras posibles en que él reformule el problema, teniendo el profesor más responsabilidades en la delimitación del contenido.

Para Bachelard, haciendo referencia a la enseñanza de la Física, una experiencia científica contradice a la experiencia cotidiana. El aprendizaje científico implica un cambio de cultura y de racionalidad. Las ideas y

---

conocimientos adquiridos en la vida cotidiana, siempre bloquean el proceso de construcción de nuevos conocimientos.

En particular al tomar los ejemplos de la electricidad, comenta:

“...se ve la dificultad que significó abandonar lo pintoresco de la observación básica, decolorar el fenómeno eléctrico, y despejar a la experiencia de sus caracteres parásitos, de sus aspectos irregulares. Aparecerá entonces claramente que la primera empresa empírica no da ni los rasgos exactos de los fenómenos, ni una descripción bien ordenada, bien jerarquizada de los fenómenos.” (Bachelard, 1974, pp.34-35).

Para Bachelard la racionalidad del conocimiento científico no es un refinamiento de la racionalidad del sentido común sino que, por el contrario, desmorona sus principios, exige nuevas maneras de abordar los problemas, de nuevas formas de razonamiento que se construyen una vez desarticulados los obstáculos epistemológicos.

De acuerdo con la epistemología bachelardiana, el concepto de *problema adecuado* debe ser evolutivo en el sentido de adquirir una mayor precisión en la formulación y orientarse hacia una especialización a medida que el conocimiento científico aumente. Los alumnos deben apropiarse de las situaciones problemáticas, ya que sólo así constituirán un problema para su conocimiento. El alumno se debe situar en su conocimiento, ligado al mundo sensorial, para sobrepasarlo, comenzando por ponerlo en duda, racionalizándolo, criticándolo, diversificando hipótesis, precisando razonamientos, procurando la variación y confrontando dialécticamente diferentes hipótesis.

El conocimiento cualitativo es el primer paso para el avance del conocimiento pero, como indica este autor, tiene errores, imprecisiones, y por ello tiene que convertirse en cuantitativo. Existe una tendencia de los profesores de Física en pensar que sus alumnos no saben Matemática y así

explican su falta de éxito en los problemas cuantitativos. Frente a esto Bachelard llama la atención sobre el obstáculo cuantitativo, ya que existe el peligro que los alumnos se compliquen en fórmulas y números sin saber exactamente lo que hacen. Así, son incapaces de discutir los resultados y de formular preguntas pertinentes.

Estos son aspectos centrales a ser analizados en los próximos capítulos en las producciones de los estudiantes y en las situaciones de aula que son objetos de estudio para el desarrollo de esta tesis. Complementando el enfoque conceptual y epistemológico desarrollado en este capítulo, en el próximo se desarrollarán los aspectos centrales de los referentes teóricos para el análisis del proceso de aprendizaje del concepto de campo eléctrico.

## **CAPÍTULO 3**

### **REFERENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. INTRODUCCIÓN**

El marco teórico para esta tesis se centra en el significado del constructo '*aprendizaje significativo*', tanto desde la perspectiva de Ausubel-Novak (Ausubel, 1976; Ausubel, Novak y Hanesian, 1991 como desde otras contribuciones que han enriquecido su sentido teórico y su aplicabilidad, tales como la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird (1983) y la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud (1990).

El aprendizaje es el proceso que se genera en la mente de los sujetos cuando subsume nueva información, según Ausubel de manera no arbitraria y sustantiva y que requiere como condiciones:

- predisposición para aprender;
- material potencialmente significativo;
- significatividad lógica del material;
- redes de anclaje en la estructura cognitiva del que aprende.

Es una interacción triádica entre el profesor, el aprendiz y los materiales educativos del currículo.

Para la primera etapa de la investigación, que se desarrolla en esta tesis, se recurrió a un análisis teórico según el punto de vista ausubeliano, recurriendo a la teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird para la interpretación de las representaciones mentales que construye el alumno de una situación problemática. El constructo *modelo mental* permite inferir el proceso de construcción del aprendizaje significativo, ofreciendo una base sólida para el análisis de los procesos que ocurren en el aula (Rodríguez Palmero, 2004).

Para la segunda etapa se ha recurrido a la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud (1990, 1996a, b, 2007) para la organización de una propuesta de intervención didáctica, atendiendo también a consideraciones psicológicas que la fundamentan. En esta etapa el constructo *esquema de asimilación* se constituye como eje.

Como se ha señalado en el capítulo 1, la capacidad de resolver problemas aparece como uno de los objetivos más importantes a lograr en la formación de un ingeniero, especialmente cuando se tratan cuestiones cuyo eje es la modelización de situaciones problemáticas de interés profesional. En particular, la resolución de problemas tiene implicancias que son relevantes en el aprendizaje de la Física Eléctrica.

El interés manifiesto por el lenguaje reside en la comprensión que los estudiantes hacen a través de los enunciados de problemas relativos al tema campo eléctrico. Desde esta perspectiva, el marco teórico permite interpretar cómo el estudiante se sitúa en su conocimiento para desarrollar representaciones, enunciar y validar hipótesis, establecer condiciones, desarrollar inferencias, organizar el razonamiento, recuperar esquemas de resolución, diseñar estrategias y confrontar dialécticamente diferentes supuestos y enfoques de resolución de problemas. Esto es particularmente de interés en las situaciones de examen ya que en esas instancias deben actuar en forma individual y en tiempos acotados, activando el sistema de significados elaborado y los procedimientos aprendidos.

---

La habilidad cognitivo-lingüística consiste en establecer relaciones entre conceptos, designados por palabras, y expresarlas mediante enunciados que, en el caso que interesa en este trabajo, estarán orientados al campo científico-tecnológico. Este estudio se va a limitar a campos eléctricos estacionarios, es decir, constantes en el tiempo dentro de la teoría clásica del electromagnetismo. En esta teoría el concepto de campo es central y constituye la base de un modelo del mundo real elaborado por la comunidad científica para interpretar la naturaleza en un proceso largo como fuera presentado en el capítulo 2.

En los apartados siguientes se señalan algunos aspectos centrales de los referentes teóricos asumidos en esta tesis.

### **3.2. EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE AUSUBEL-NOVAK: ASPECTOS PSICOLÓGICOS Y LINGÜÍSTICOS**

Ausubel (1968) considera como factor clave en el aprendizaje lo que el alumno ya sabe. Novak (1986), lo orienta hacia la enseñanza, con referencia explícita a otras variables instruccionales como el aprendizaje de la ciencia y la resolución de problemas que ocurren en el aula.

En la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel se considera que el alumno da sentido a lo que aprende, en vez de almacenar arbitraria y literalmente el conocimiento. El significado se genera por la interacción entre el nuevo conocimiento y aquéllos que ya existen, con estabilidad y claridad, en la estructura cognitiva del que aprende.

Para Ausubel (1963), el aprendizaje significativo es el mecanismo humano, por excelencia, para adquirir y almacenar una importante cantidad de informaciones representadas en cualquier campo de conocimiento. Las características básicas del aprendizaje significativo son *no-arbitrariedad* y

*sustantividad*. No-arbitrariedad implica que el material potencialmente significativo se relaciona de manera no-arbitraria con el conocimiento ya existente en la estructura cognitiva del aprendiz. De modo que, la relación no es con cualquier aspecto de la estructura cognitiva sino con conocimientos relevantes a los que Ausubel llama *subsumidores*.

Los conocimientos previos son el puente y la organización para la incorporación, comprensión y fijación de nuevos conocimientos cuando éstos ‘se anclan’ en conocimientos específicamente relevantes preexistentes en la estructura cognitiva. De este modo nuevas ideas, conceptos, proposiciones, pueden aprenderse significativamente en la medida en que otras ideas, conceptos, proposiciones, específicamente relevantes e inclusivos estén adecuadamente claros y disponibles en la estructura cognitiva del sujeto y funcionen como puntos de ‘*anclaje*’ para los primeros.

El concepto de *sustantividad* en la teoría de Ausubel significa que lo que se incorpora a la estructura cognitiva es la ‘*sustancia*’ del nuevo conocimiento, de las nuevas ideas. El mismo concepto o la misma proposición pueden expresarse de diferentes maneras a través de distintos signos, equivalentes en términos de significados.

La importancia del proceso de aprendizaje significativo está, por lo tanto, en la relación no arbitraria y sustantiva de ideas simbólicamente expresadas con algún aspecto relevante de la estructura de conocimiento del sujeto, esto es, con algún concepto o proposición que ya le es significativo y adecuado para interactuar con la nueva información. De esta interacción surgen para el estudiante, los significados de los materiales potencialmente significativos. En esta interacción, el conocimiento previo se modifica por la adquisición de nuevos significados por lo que, desde la perspectiva ausubeliana, el conocimiento previo es la variable decisiva para el aprendizaje significativo.

---

El concepto de aprendizaje significativo tiene su mayor potencial, en la perspectiva de la instrucción, que fuera complementada por Novak y Gowin. Ausubel (1968), al explicitar las condiciones para el aprendizaje significativo, tiene en consideración el lado afectivo...`el aprendizaje significativo requiere no sólo que el material de aprendizaje sea potencialmente significativo, sino también que el estudiante manifieste una disposición para relacionar el nuevo material de modo sustantivo y no-arbitrario a su estructura de conocimiento' (pp. 37-38).

Para aprender de manera significativa el sujeto debe querer relacionar el nuevo contenido de manera no-literal y no-arbitraria a su conocimiento previo. En la disposición para aprender se puede percibir la importancia que, en la formulación original, Ausubel otorgó al dominio afectivo en el aprendizaje significativo. Novak (1986,1988) fue quien le confirió a la Teoría del Aprendizaje Significativo un toque humanista. El aprendizaje significativo subyace a la integración constructiva entre pensamiento, sentimiento y acción, lo que conduce al engrandecimiento humano.

Para Novak, una teoría de la educación debe considerar que los seres humanos piensan, sienten y actúan y debe ayudar a explicar cómo se pueden mejorar las maneras a través de las cuales las personas hacen eso. Cualquier evento educativo es, de acuerdo con Novak, una acción para cambiar significados y sentimientos entre aprendiz y profesor.

Para Novak un hecho educativo, está acompañado de una experiencia afectiva. La predisposición para aprender, destacada por Ausubel como una de las condiciones para el aprendizaje significativo, está para Novak, íntimamente relacionada con la experiencia afectiva que el estudiante tiene en el evento educativo. Su hipótesis es que la experiencia afectiva es positiva e intelectualmente constructiva cuando la persona que aprende tiene recompensa en la comprensión.

### 3.2.1. EL LENGUAJE PARA LA TEORÍA DEL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

Según Ausubel y otros (1991) la distinción entre procesos perceptivos y cognitivos en el aprendizaje verbal significativo es particularmente difícil de definir porque en ambas clases de procesos hay interacción del estímulo verbal de entrada con la estructura cognitiva.

El sujeto percibe los mensajes verbales y aprende cognoscitivamente sus significados al interpretarlos con soporte en el conocimiento existente. La diferencia entre los dos procesos es la inmediatez y la complejidad. En la percepción hay un contenido inmediato de conciencia antes de la intervención de procesos cognitivos complejos como los del aprendizaje por recepción.

El aprendizaje significativo más básico es el aprendizaje del significado de símbolos individuales (típicamente palabras) o aprendizaje de lo que ellas representan. Ausubel denomina '*aprendizaje representacional*' a este aprendizaje significativo.

El aprendizaje de conceptos, o aprendizaje conceptual, es un caso especial, y muy importante, de aprendizaje representacional, pues los conceptos también se representan por símbolos individuales. Sin embargo, en este caso son representaciones genéricas o categoriales. Es preciso distinguir entre aprender lo que significa la palabra-concepto, o sea, aprender qué concepto está representado por una palabra dada y aprender el significado del concepto (Ausubel, 1963, p. 44).

El '*aprendizaje proposicional*', a su vez, se refiere a los significados de ideas expresadas por grupos de palabras (generalmente representando conceptos) combinadas en proposiciones o sentencias.

---

Para Ausubel, la estructura cognitiva se inclina a organizarse jerárquicamente en términos de nivel de abstracción, generalidad e inclusividad de sus contenidos.

Lógicamente, los significados para los materiales de aprendizaje reflejan una relación de subordinación a la estructura cognitiva. Conceptos y proposiciones potencialmente significativos quedan subordinados o en términos de Ausubel (1963), son subsumidos bajo ideas más abstractas, generales e inclusivas. Este aprendizaje se denomina '*aprendizaje significativo subordinado*'. Si el nuevo material es sólo corroborador o directamente derivable de algún concepto o proposición ya existente, con estabilidad e inclusividad, en la estructura cognitiva, el aprendizaje se denomina '*derivativo*'. En el caso que el nuevo material es una extensión, elaboración, modificación o cuantificación de conceptos o proposiciones previamente aprendidos de manera significativa, el aprendizaje subordinado se considera '*correlativo*'.

El nuevo material de aprendizaje almacena una relación de superordenación con la estructura cognitiva cuando el sujeto aprende un nuevo concepto o proposición más amplia que pueda subordinar, o 'subsumir', conceptos o proposiciones ya existentes en su estructura de conocimiento. Este tipo de aprendizaje, menos común que el subordinado, Ausubel lo define como '*aprendizaje superordenado*'. Es trascendente en la formación de conceptos y en la unificación y reconciliación integradora de proposiciones aparentemente no relacionadas o conflictivas.

Por otra parte, Ausubel (1963) menciona el caso del aprendizaje de conceptos o proposiciones que no son subordinados ni superordenados en relación con algún concepto o proposición, en particular, ya existente en la estructura cognitiva. No son subordinables ni son capaces de subordinar algún concepto o proposición ya establecido en la estructura cognitiva del sujeto que aprende. Le da a este tipo de aprendizaje el nombre de '*aprendizaje significativo combinatorio*'.

El aprendizaje significativo estaría íntimamente vinculado a la edificación de constructos. En la medida en que los constructos personales del sujeto, o su sistema de construcción, fuesen exitosos, en el sentido de anticipar eventos a través de sus réplicas, se estaría delante del aprendizaje significativo subordinado derivativo.

El aprendizaje significativo implica adquisición/construcción de significados, en el camino del aprendizaje significativo, el significado lógico de los materiales de aprendizaje se transforma en `significado psicológico para el aprendiz´ (Ausubel, 1963, p. 58).

Según Moreira (1997):

“Ausubel, considera que el ser humano tiene la gran capacidad de aprender sin tener que descubrir. Excepto en niños pequeños, aprender por recepción es el mecanismo humano por excelencia para aprender. Las nuevas informaciones, pueden darse directamente en su forma final al aprendiz. Es la existencia de una estructura cognitiva previa adecuada (subsumidores específicamente relevantes) lo que va a permitir el aprendizaje significativo (relación no arbitraria y sustantiva con el conocimiento previo).” (p.9).

Finalmente se puede decir que Ausubel (1968) atribuye al lenguaje la relevancia que tiene para el aprendizaje significativo:

“Para todas las finalidades prácticas, la adquisición de conocimiento en la materia de enseñanza depende del aprendizaje verbal y de otras formas de aprendizaje simbólico. De hecho, es en gran parte debido al lenguaje y a las simbolizaciones como la mayoría de las formas complejas de funcionamiento cognitivo se vuelve posible” (p.79).

Resumiendo se puede afirmar que el lenguaje para Ausubel contribuye de tres maneras en la formación de conceptos:

- 
- a- Las propiedades de representación de las palabras facilitan el proceso de transformación que interviene en el pensamiento.
  - b- La verbalización de los productos intuitivos que surgen de las operaciones de los mismos antes de nombrarlos, mejorando y perfeccionando su significado, aumenta de esta manera su poder de transferencia.
  - c- Los tipos de conceptos que los sujetos aprenden están influidos por el vocabulario y la estructura del lenguaje de la cultura en la que están inmersos.

### **3.2.2. LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN EL CONTEXTO DE LA TEORÍA DEL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO**

La resolución de problemas así como la creatividad son, para Ausubel, formas de aprendizaje significativo que exigen la transformación y la reintegración del conocimiento existente para adaptarse a las demandas de una meta específica o de una relación medio-fines. Las variables más importantes que influyen en los resultados de la resolución de problemas son:

- la disponibilidad de conceptos y principios en la estructura cognoscitiva, pertinentes para los problemas particulares que se vayan presentando,
- las características cognoscitivas y de personalidad como la agudeza, la capacidad de integración, el estilo cognoscitivo, la sensibilidad al problema, la flexibilidad, la capacidad de improvisar, la audacia y la curiosidad intelectual.

En el proceso de enseñanza-aprendizaje se actúa intencionalmente para producir la organización de esta estructura hacia el modelo conceptual consensuado científicamente. Esta conceptualización implica la comprensión

de los significados impartidos por el docente. 'La enseñanza se consume cuando el significado del material que el alumno capta es el significado que el profesor pretende que ese material tenga para el alumno.' (Gowin, 1981, p.81).

El lenguaje facilita la resolución de problemas así como la adquisición de conceptos, por lo tanto, la capacidad verbal y la disposición cognitiva general ayudan a explicar tanto las tendencias de nivel de edad como las diferencias individuales en la capacidad de resolver problemas.

La creatividad 'es la expresión suprema de la resolución de problemas, que involucra transformaciones nuevas u originales de las ideas y la generación de nuevos principios integradores y explicativos' (Ausubel y otros, 1991, p.485).

La resolución de problemas es para el sujeto cualquier actividad en la que la representación cognoscitiva de la experiencia previa como los componentes de una situación problemática, son reorganizados para alcanzar un objetivo predeterminado. En la resolución de problemas hay aprendizaje por descubrimiento y éste es significativo cuando el estudiante relaciona en forma intencionada y sustancial una proposición potencialmente significativa del planteamiento de un problema a su estructura cognitiva, con el propósito de obtener una solución que también sea potencialmente significativa. Por otra parte, la enseñanza de la Física tiene la particularidad de requerir el empleo de las operaciones mentales de mayor complejidad. Es decir, la apropiación de los conocimientos debe evidenciarse mediante procedimientos tales como la resolución de problemas.

En este contexto la resolución significativa de problemas, se considera un aprendizaje por descubrimiento Según Ausubel, las cinco etapas de resolución de problemas consisten en:

- Un estado de duda, de perplejidad cognoscitiva, de frustración o de conocimiento de la dificultad.

- 
- Un intento por identificar el problema, en el que se incluye una designación más bien inespecífica de los fines perseguidos, la laguna que debe llenarse o la meta que hay que alcanzar, todo esto definido por la situación que plantea el problema.
  - Establecimiento de relaciones entre las proposiciones de planteamiento del problema con la estructura cognoscitiva, lo cual activa las ideas antecedentes pertinentes y las soluciones dadas a problemas anteriores que, a su vez, son organizadas en forma de proposiciones de resolución de problemas o hipótesis.
  - Comprobación sucesiva de las hipótesis y replanteamiento del problema de ser necesario.
  - Incorporación de la solución acertada a la estructura cognoscitiva (comprenderla) y luego aplicarla tanto al problema presente como a otros ejemplares del mismo problema.

Las estrategias de la resolución de problemas muestran las mismas características que la formación de conceptos, reflejan la influencia del tipo de problema en cuestión y de las condiciones en que ocurre la resolución del mismo, así como aspectos idiosincrásicos de desempeño cognoscitivo (Ausubel y otros, 1991).

Con respecto a los factores que influyen en la resolución de problemas, según la perspectiva ausbeliana se destacan:

- *Factores de tarea*: el desarrollo de la capacidad de resolver problemas exige una experiencia prolongada de enfrentarse con problemas.
- *Factores intrapersonales*: la inteligencia es uno de los determinantes primordiales de la capacidad de solucionar problemas. Por una parte, involucra la facultad de razonar y, por otra, las capacidades intelectuales (comprensión, memoria, procesamiento de información, capacidad de análisis) afectan la resolución de problemas.

- *Entrenamiento y destreza para la resolución de problemas*: incluye como factores la capacidad de resolver problemas, el conocimiento de la materia, los determinantes cognoscitivos y los rasgos de personalidad

Esta tesis centra su atención, particularmente, en el lenguaje (literal, numérico, gráfico) de los enunciados de problemas, considerando que la comprensión de un enunciado y las representaciones vinculadas con códigos lingüísticos que el estudiante efectúa al inicio de la resolución de problemas de lápiz y papel es una etapa de singular importancia para conocer cómo se identifican ideas relacionadas con el enunciado, cómo se reconoce la información relevante, la manera en que establece la relación sustantiva y no arbitraria entre ellas y los contenidos disciplinares.

### **3.3. LA TEORÍA DE LOS MODELOS MENTALES DE JOHNSON-LAIRD**

La Teoría de los Modelos Mentales (Johnson-Laird, 1983, 1996) como forma de analizar las representaciones se han convertido en una referencia actual para la investigación en Educación en Ciencias. La misma ha mostrado la necesidad de abordar el conocimiento desde un enfoque psicológico. Surgen, así, los modelos mentales como mecanismo para comprender el modo según el cual se interpreta el mundo.

Se trata de una teoría de la mente explicativamente adecuada que, tomando como base la idea de 'mente computacional', atiende tanto a la forma de la representación (proposiciones, modelos mentales e imágenes) como a los procedimientos efectivos que permiten construir las mismas y manipularlas, recurriendo a la revisión recursiva de las representaciones mentales (Johnson-Laird, 1983, 1996). Todo ello está construido sobre la base de un lenguaje mental propio, que da cuenta tanto de la forma de esa representación como de los procesos que con ella se producen. Esa representación trabaja sobre un contenido al que de este modo se le asigna

---

significado (Rodríguez Palmero, Marrero Acosta y Moreira, 2001; Rodríguez Palmero, 2003b).

El *carácter computacional* de la mente supone la capacidad de operar con un conjunto de símbolos (códigos específicos y característicos, con lenguaje propio) que le permiten al sujeto procesar la información a través de *procedimientos efectivos*, que pueden ser implementados por la mente en un proceso análogo al de un ordenador. Johnson-Laird postula que asignar ese carácter computacional a la mente es atribuirle una gran funcionalidad, característica esencial de las representaciones.

Se considera un procedimiento como efectivo si es previsible, o al menos son previsible sus resultados, de manera tal que puedan establecerse inferencias sobre su comportamiento. Un procedimiento efectivo es aquel que puede ejecutarse sin implicar ninguna decisión basada en cualquier ingrediente "misterioso". Estos conceptos de *mente computacional* y *procedimientos efectivos* responden a la *metáfora del ordenador*, es decir, la consideración de la mente como un sistema de procesamiento que recibe, codifica, almacena y recupera información. La codificación simbólica de la información se realiza mediante un proceso de *revisión recursiva* que permite al sujeto elegir una representación de un suceso dado, un modelo mental dentro de los posibles. Es decir, a través de la revisión recursiva, la mente contrasta sus modos de ver el mundo eligiendo la representación que le permita su interacción con él. Puede considerarse que la *revisión recursiva* es un *procedimiento efectivo* con la cual opera la *mente computacional*. Con esa mente computacional, operando de esa forma, los sujetos construyen los modelos mentales como análogos estructurales del mundo, como representaciones internas que permiten actuar sobre y con él para interpretarlo, para codificarlo y decodificarlo dentro del propio modelo. Estos modelos mentales son las representaciones que posibilitan la comprensión, ya que facilitan el poder predictivo y explicativo frente a los fenómenos y eventos del mundo que representan.

Johnson-Laird (1983) plantea que ante la imposibilidad de aprehender el mundo directamente, la mente construye representaciones internas que actúan como intermediarias entre el individuo y su mundo, posibilitando su comprensión y su actuación en él. Considera la existencia de tres tipos de representaciones mentales:

- las representaciones proposicionales, definidas como *cadena de símbolos que corresponden al lenguaje natural*, y que pueden expresarse verbalmente;
- los modelos mentales considerados como análogos estructurales de una situación del mundo real o imaginario. Permiten a la mente establecer inferencias, con poder explicativo y predictivo, que justifican su funcionalidad. Son correlatos mentales de la realidad ante la imposibilidad de aprehenderla directamente, siendo de ese modo como se le atribuye significado;
- las imágenes mentales, constituyen productos de la percepción tanto como de la imaginación, representan aspectos perceptibles de los objetos del mundo real; corresponden a elementos visuales del modelo, admitiendo que en algunos casos son modelos mentales muy simples:

La premisa básica que se plantea Johnson-Laird (1983) es:

"La principal asunción de la teoría que yo estoy desarrollando es que la semántica del lenguaje mental traza el mapa de las representaciones proposicionales dentro de modelos mentales de mundos reales o imaginarios: las representaciones proposicionales se representan con respecto a modelos mentales" (p.90).

El razonamiento se lleva a cabo con modelos mentales. La mente humana opera con ellos como piezas cognitivas que se combinan de diversas maneras y que 're-presentan' los objetos y/o las situaciones, captando sus elementos y atributos más característicos. Pero esos modelos mentales se

---

construyen y en ellos se pueden utilizar otras representaciones: proposiciones e imágenes.

Así, los sujetos, al razonar para resolver un problema, generan un número de posibilidades como modelos mentales que evolucionan en forma sucesiva. Presumiblemente, en un determinado punto de este proceso, evalúan la plausibilidad o credibilidad del modelo en función de la evidencia que lo soporta. Esto puede llevar a la generación de nuevos modelos o a la reestructuración de alguno de ellos. En algún punto, el proceso se detiene, configurándose el modelo desde el cual se encara la resolución. La mayor o menor adecuación del modelo depende del reconocimiento de las auténticas demandas de la tarea. Su efectividad quedará determinada no sólo por un adecuado conocimiento declarativo específico, sino por el conocimiento de las formas de actuación para una buena ejecución y su puesta en práctica de manera controlada y autorregulada. Dos criterios básicos para evaluar modelos situacionales son: los *sesgos de accesibilidad y representatividad*, que implican la consideración de los argumentos en un único sentido, y la *completitud*, en referencia a la consideración de todos los argumentos posibles. El efecto básico de la accesibilidad se manifiesta cuando se dirige la atención selectivamente hacia cierto tipo de información en detrimento de otras. Por otro lado, la consideración de información no relevante y la escasa atención a la fiabilidad y poder predictivo de los datos, son características del sesgo de representatividad.

Según Johnson-Laird (1983), las inferencias implícitas del razonamiento dependen de la habilidad del sujeto de interpretar argumentos por construcción de modelos mentales de la situación descrita. Las deducciones deliberadas dependen de la habilidad de buscar, exhaustiva y sistemáticamente, modelos alternativos que violen las conclusiones hipotéticas. De allí que los fracasos en el razonamiento los atribuya a fallas: en la construcción y/o búsqueda de suficientes modelos relevantes, en la elaboración sistemática y exhaustiva de contraejemplos a la

conclusión, o en la evaluación de las implicaciones de todos los modelos hallados en el proceso.

Los modelos mentales pueden representar una situación verdadera, posible o imaginaria. Son finitos y se construyen con símbolos ubicados en una estructura particular para representar un estado de cosas (Garnham Traxler, Oakhill & Gernsbacher, 1996).

En su teoría, Johnson-Laird propone una tipología como intento de categorización de los modelos mentales. Define a los modelos físicos como aquéllos generados por la percepción y contruidos por entidades físicas, caracterizados por:

- un conjunto finito de elementos ("tokens") que representan un conjunto también finito de entidades físicas,
- un conjunto finito de propiedades de esos elementos que representan propiedades físicas de las entidades,
- un conjunto finito de relaciones entre los elementos que representan relaciones físicas entre entidades.

La mente representa cada uno de esos tres conjuntos de entidades, propiedades físicas de las mismas y relaciones diversas entre ellas. La representación de estas entidades físicas, reales, constituyen los modelos físicos, en los que es imprescindible delimitar los elementos ("tokens") que permiten su construcción. Estos modelos representan situaciones perceptibles.

Define como *modelos conceptuales* a aquellos modelos mentales no derivados de la percepción, contruidos para entidades que no son físicas, reales, sino abstractas. También aquí se definen tres conjuntos finitos:

- un conjunto de elementos que representan entidades individuales y propiedades,
- un conjunto de relaciones binarias,

- 
- un conjunto de elementos notacionales para representar la relación establecida.

Es difícil identificar exactamente qué son los modelos mentales y en qué difieren de otras formas de representaciones mentales. Para aclarar la naturaleza y funcionamiento de los modelos mentales, Johnson- Laird (1983) enuncia una serie de principios que imponen vínculos a la naturaleza de los modelos mentales y los limitan (Moreira, 2000c):

1. *Principio de computabilidad*: los modelos mentales son computables, esto es, deben poder ser descritos en forma de procedimientos efectivos que puedan ser ejecutados por una máquina.

2. *Principio de finitud*: los modelos mentales son finitos en tamaño y no pueden representar directamente un dominio infinito. Este vínculo deviene de la premisa de que el cerebro es un organismo finito.

3. *Principio de constructivismo*: los modelos mentales son construidos a partir de elementos básicos, los "tokens" que ya fueran mencionados, organizados en una cierta estructura para representar un determinado estado de cosas. Este vínculo surge de la función primaria de los modelos mentales que es la de representar mentalmente estados de cosas. Como existe un número infinito de estados de cosas que puede ser representado, pero sólo un mecanismo finito para construir modelos que los representen, tales modelos deben ser construidos a partir de constituyentes más elementales.

4. *Principio de economía*: una descripción de un único estado de cosas es representada por un único modelo mental, aún si esa descripción es incompleta o indeterminada. Pero un único modelo mental puede representar un número infinito de posibles estados de cosas ya que ese modelo puede ser revisado recursivamente. Cada nueva aseveración descriptiva de un estado de cosas puede implicar una revisión del modelo para reformarlo. Este vínculo se refiere a la construcción de modelos a

partir del discurso, dado que éste es siempre indeterminado y compatible con muchos estados de cosas diferentes: para limitar esta situación, la mente construye un modelo mental inicial y lo revisa recursivamente cuando es necesario. Pero hay límites para tal revisión: el proceso de revisión recursiva está gobernado por las condiciones de verdad del discurso en el que el modelo se basa.

5. *Principio de no-indeterminación:* los modelos mentales pueden representar indeterminaciones directamente si y sólo si su uso fuera computacionalmente intratable, es decir, si no existe un crecimiento exponencial en complejidad. Este vínculo es un corolario del primero y del anterior: si se trata de acomodar cada vez más indeterminaciones en un modelo mental, esto llevará rápidamente a un crecimiento intratable en el número de posibles interpretaciones del modelo que, en la práctica, el mismo dejará de ser un modelo mental.

6. *Principio de predicabilidad:* un predicado puede ser aplicable a todos los términos a los cuales otro predicado es aplicable, pero ellos no pueden tener ámbitos de aplicación que no se intersecten. Por ejemplo, los predicados "animado" y "humano" son aplicables a ciertas cosas en común, "animado" se aplica a cosas a las cuales "humano" no se aplica, pero no existe nada que se aplique a "humano" y no a "animado". Para Johnson-Laird, la virtud de ese vínculo es que permite diferenciar un concepto artificial de uno natural. Un concepto que fuese definido por predicados que no tuvieran nada en común violaría este principio y no estaría, por lo tanto, representado en los modelos mentales.

7. *Principio de innatismo:* todos los primitivos conceptuales son innatos. Los mismos subyacen nuestras experiencias perceptivas, habilidades motoras, estrategias, es decir, nuestra capacidad de representar el mundo. Una condición suficiente pero no necesaria para identificar conceptos primitivos es la indefinibilidad. El movimiento, por ejemplo, es una palabra que corresponde a un primitivo conceptual, pero que puede ser definida.

---

Johnson-Laird rechaza el innatismo extremo de que todos los conceptos son innatos, estableciendo que algunos son disparados por la experiencia. Defiende el aprendizaje de conceptos a partir de primitivos conceptuales o de conceptos previamente adquiridos. Además de los primitivos conceptuales innatos, admite también la existencia de primitivos procedimentales que son accionados automáticamente cuando un individuo construye un modelo mental. Los primitivos procedimentales no pueden ser adquiridos a través de la experiencia porque una representación mental de la experiencia ya requiere habilidad de construir modelos de la realidad a partir de la percepción. Estos primitivos procedimentales también deben ser innatos.

8. *Principio de número finito de primitivos conceptuales:* existe un conjunto finito de primitivos conceptuales que origina un conjunto correspondiente de campos semánticos y otro conjunto finito de conceptos u “operadores semánticos”. Esto ocurre en cada campo semántico y sirve para construir conceptos más complejos a partir de los primitivos subyacentes. Un campo semántico léxico está constituido por un gran número de palabras que comparten en el núcleo de sus significado, un concepto común. Por ejemplo, los verbos asociados a la percepción visual como *observar, mirar, escudriñar*, comparten un núcleo subyacente que corresponde al concepto de ver. Los operadores semánticos incluyen los conceptos de tiempo, espacio, posibilidad, permisibilidad, causa e intención. Por ejemplo, si las personas miran alguna cosa, ellas focalizan sus ojos durante un cierto intervalo de tiempo con la intención de ver lo que sucede. Los campos semánticos nos proveen nuestra concepción sobre lo que existe en el mundo, sobre los elementos del mundo, en cuanto los operadores semánticos nos proveen nuestro concepto sobre las variadas relaciones que pueden ser inherentes a esos objetos.

9. *Principio de identidad:* las estructuras de los modelos mentales son idénticas a las estructuras de los estados de cosas, percibidos o concebidos,

que los modelos representan. Este vínculo se desarrolla, en parte, de la idea de que las representaciones mentales deben ser económicas y, por lo tanto, cada elemento de un modelo mental, incluyendo sus relaciones estructurales, debe tener un papel simbólico. No debe haber en la estructura del modelo ningún aspecto sin función o significado.

Estos principios permiten entender el concepto "modelo mental" y tienen su razón de ser en el sustrato teórico que constituye el fondo de la teoría. Estos principios constituyen la propia definición de lo que es un modelo mental en este marco teórico, así como la forma en la que actúa; también explicitan sus restricciones.

Teniendo en cuenta los principios o vínculos antes enunciados, Johnson-Laird propone lo que él llama una tipología informal y tentativa para los modelos mentales. Identifica seis tipos principales de modelos físicos:

1. *Modelo relacional*: es un cuadro estático, consistente en un conjunto de "tokens" (que representan un conjunto finito de entidades físicas), un conjunto finito de las propiedades de los elementos que representan las propiedades físicas de las entidades, y un conjunto finito de relaciones entre los elementos que representan relaciones físicas entre las entidades.
2. *Modelo espacial*: es un modelo relacional en el cual las únicas relaciones que existen entre las entidades físicas representadas son espaciales, y el modelo representa estas relaciones localizando los elementos ("tokens") en un espacio dimensional (de dos o tres dimensiones). Este tipo de modelo puede satisfacer las propiedades de espacio métrico ordinario, en particular, la continuidad psicológica de sus dimensiones y la desigualdad triangular (la distancia entre dos puntos nunca es mayor que la suma de las distancias entre cada una de ellas y un tercer punto cualquiera).

- 
3. *Modelo temporal*: consiste de una secuencia de cuadros espaciales (de una determinada dimensión) que ocurre en un orden temporal que corresponde al orden de los eventos (no necesariamente en tiempo real).
  4. *Modelo cinematográfico*: es un modelo temporal psicológicamente continuo, representa los cambios y movimientos de las entidades representadas sin discontinuidades temporales. Este modelo puede funcionar en tiempo real y ciertamente lo hará si fue construido por la percepción.
  5. *Modelo dinámico*: es un modelo cinematográfico en el cual existen también relaciones entre ciertos cuadros representando relaciones causales entre los eventos representados.
  6. *Imagen*: es una representación, centrada en el observador, de las características visibles de un modelo espacial tridimensional o cinematográfico subyacente.

Los seis tipos de modelos presentados son clasificados por Johnson-Laird como físicos en el sentido que, con excepción de la causalidad, corresponden directamente al mundo físico. Pueden representar situaciones perceptibles, pero no relaciones abstractas o cualquier cosa que no sean descripciones de situaciones físicas determinadas.

Según Johnson-Laird (1983):

“La tipología ha revelado un carácter esencial de los modelos mentales: derivan de un conjunto relativamente pequeño de elementos y operaciones recursivas en esos elementos; su poder representacional depende del posterior conjunto de procedimientos para construirlos y evaluarlos. Las mayores restricciones de los modelos mentales derivan de la estructura percibida o concebida del mundo, de las relaciones conceptuales que gobiernan la ontología y de la necesidad de mantener un sistema libre de contradicciones” (pp. 422-423).

Johnson-Laird supone que no hay una línea precisa que distinga la percepción de la conceptualización. Pero la percepción produce normalmente modelos dinámicos, métricos, tridimensionales de estados de cosas del mundo, en los cuales cada cuadro caracteriza las formas volumétricas de los objetos y las relaciones espaciales entre ellos en términos de un sistema de coordenadas referido a los objetos. La dificultad es la causalidad (por ser una relación abstracta), pero el sistema perceptivo parece ser sensible a ella, o mejor dicho, a las pistas de ella.

En particular, ante una situación problemática presentada en un enunciado de un problema la teoría de los Modelos Mentales considera que el sujeto construye una representación del problema que incluye la situación, los objetos, procesos o causas descritos en el mismo por interacción con sus conocimientos previos. el modelo se organiza a partir del procesamiento semántico del lenguaje en que es enunciado el problema (De Vega, Carreiras, Gutiérrez-Calvo & Alonso-Quecuty, 1990).

Johnson-Laird (1983) ofrece una teoría científica de la mente, como se indica en el párrafo siguiente:

“Su objetivo es simplemente establecer la viabilidad de una teoría basada en el presupuesto de que los significados de las palabras son procedimientos de descomposición que relacionan los modelos mentales con el mundo y, en particular, en el uso de procedimientos léxicos que interactúan con procedimientos generales para construir, manipular y evaluar modelos mentales” (p.202).

La teoría de los Modelos Mentales ofrece, en función de los aspectos presetados, un marco de referencia ineludible para analizar las representaciones internas que construyen los estudiantes, porque atiende tanto a la forma de representación (proposiciones, modelos mentales e imágenes) como a los procedimientos que permiten construirlos.

---

### 3.4. LA TEORÍA DE LOS CAMPOS CONCEPTUALES

Para Vergnaud (1983) el problema central de la cognición es la conceptualización, y a partir de esta premisa desarrolla una teoría psicológica que atiende a la complejidad cognitiva. Postula que el conocimiento se encuentra organizado en *campos conceptuales* de los cuales los sujetos se apropian a lo largo del tiempo (Rodríguez Palmero, 2004). Los *campos conceptuales* se definen como grandes conjuntos informales y heterogéneos de situaciones y problemas, para cuyo análisis y tratamiento son necesarios variadas clases de conceptos, representaciones simbólicas, operaciones del pensamiento y procedimientos que se conectan unos con otros durante su aprendizaje o adquisición (Vergnaud, 1983, 1990). Esta teoría se ocupa del estudio del desarrollo y el aprendizaje de conceptos y competencias complejas a fin de explicar el modo como se genera el conocimiento, entendiendo como tal tanto los saberes que se expresan como los procedimientos, es decir, el saber decir y el saber hacer (Vergnaud, 1990, 1996b). El objetivo que persigue Vergnaud (1996b) es advertir cuáles son los problemas de desarrollo específicos de un campo de conocimiento. Ese conocimiento lo aprehende el sujeto formando parte de sus estructuras cognitivas por un proceso de integración adaptativa con las situaciones que vive, proceso que se desarrolla a lo largo del tiempo. En este sentido, esta teoría pretende facilitar una estructura para la investigación sobre actividades cognitivas complejas, en especial el aprendizaje del conocimiento científico, "... se trata de una teoría psicológica cognitivista que se ocupa del estudio del desarrollo y del aprendizaje de conceptos y competencias complejas, lo que permite explicar en ese marco el modo en el que se genera el conocimiento..." (Vergnaud, 1996, p.8 c.p Rodríguez Palmero, Moreira, 2004).

La Teoría de los Campos Conceptuales pretende proporcionar un marco coherente y algunos principios de base para el estudio del desarrollo y del

aprendizaje de competencias complejas, especialmente las que se refieren a las ciencias y las técnicas.

Pretende dar respuesta a la construcción del conocimiento considerando que el mismo se elabora de manera pragmática. Por ello es indispensable dar importancia a lo que la persona hace y a cómo organiza su comportamiento ante determinadas situaciones. De aquí deriva la potencialidad como teoría psicológica de la cognición.

Según Vergnaud (1996b):

- Un concepto no se forma en un solo tipo de situaciones.
- Una situación no se analiza con un solo concepto.
- La construcción y la apropiación de todas las propiedades de un concepto o de todos los aspectos de una situación es un proceso de larga duración.

El constructo que da sustento a la teoría es el de *campo conceptual*, al cual se llega entendiendo que los conceptos están interconectados, se construyen y operan en el conocimiento del sujeto en función de situaciones a las que él se enfrenta. En ese proceso entran en juego procedimientos, concepciones y representaciones simbólicas, con el objetivo de dominar esas situaciones.

Cabe aclarar que para Vergnaud, el concepto de *situación* no es sinónimo de 'situación didáctica' (Brousseau, 1998), sino que la considera una combinación de tareas que dan sentido a un concepto. La situación está relacionada con los procesos cognitivos y las respuestas de los sujetos al ser confrontados con ella. Para Vergnaud la situación a la que hace referencia tiene un interés didáctico moderado ya que está orientada al análisis de las dificultades conceptuales que encuentran los alumnos ante ella. Es en este sentido que difiere de la "situación didáctica" de Brousseau. Sin embargo, considera que la organización de ésta debe apoyarse en un

---

buen conocimiento de las dificultades en las tareas cognitivas de los alumnos, pero además ser más ricas e interesantes para orientar el aprendizaje. A través de una variedad de situaciones un concepto puede tornarse significativo para un sujeto. Más específicamente, son los 'esquemas', que en sentido piagetiano dan cuenta tanto de formas de organización de las habilidades sensorio-motoras como de las habilidades intelectuales, los que al ser evocados por un sujeto al enfrentarse a determinada situación o representación simbólica de un concepto les dan sentido (Moreira, 2002b). Como señalan Escudero, Moreira y Caballero (2003):

" ... para Vergnaud la idea de situación es lo suficientemente indefinida como incluir bajo ella problemas, tareas, preguntas, tanto las tradicionalmente escolares como las que están fuera de este ámbito a condición de que permitan llevar a los estudiantes a interrogarse sobre determinadas relaciones complejas y especialmente sobre la coherencia del sistema en estudio." (p.4).

La teoría de los campos conceptuales (Vergnaud, 1990) utiliza un conjunto de nociones cognitivas centrales: esquema, invariantes operatorios (concepto-en-acción y teorema-en-acción), concepto, campo conceptual, significado de un conocimiento.

#### – **La noción de esquema**

Vergnaud (1996a, b y c) pone el acento en el sujeto en situación, su forma de organizar la conducta y su modo de conceptualizar ante esa situación y para ello utiliza el concepto de *esquema* de Piaget. Considera que éstos constituyen el centro de la adaptación de las estructuras cognitivas, jugando un papel esencial en la asimilación y en la acomodación, ya que un esquema apoya en una conceptualización implícita.

Las nociones de esquema, representación y realidad tienen una jerarquía significativa en esta teoría. El esquema es el articulador necesario entre lo real (inmerso en el campo conceptual) y la representación.

Vergnaud (1990) define al *esquema* como 'la organización invariante de la conducta para una clase de situaciones dadas... es en los esquemas donde se deben investigar los conocimientos en acto del sujeto que son los elementos cognitivos que permiten a la acción del sujeto ser operatoria' (p.136).

Un esquema es una totalidad organizada que permite generar una clase de conductas diferentes en función de las características particulares de cada una de las situaciones de la clase a la cual se dirige. Implica los siguientes componentes:

- invariantes operatorios, integrados por conceptos-en-acción y teoremas-en-acción, que otorgan características distintivas a los esquemas. Gobiernan el reconocimiento por el sujeto de los elementos pertinentes de la situación y la acumulación de información sobre la situación a tratar;
- anticipaciones del fin a lograr, de los efectos a esperar y de las etapas intermedias eventuales;
- reglas de acción del tipo *si... entonces...* que permiten generar la serie de acciones del sujeto;
- inferencias que permiten encontrar las reglas y las anticipaciones a partir de las informaciones y del sistema de invariantes operatorios de los que dispone el sujeto.

Cada esquema es relativo a una clase de situaciones cuyas características son bien definidas. Además, un esquema reposa siempre sobre una conceptualización implícita y algunos invariantes que hacen que el esquema sea operatorio. En este sentido, considera que los esquemas son los

---

elementos que sostienen a las `competencias´. De manera más precisa, señala que para `considerar correctamente la medida de la función adaptativa del conocimiento, se debe conceder un lugar central a las formas que toma en la acción del sujeto. El conocimiento racional es operatorio o no es tal conocimiento´ (Vergnaud, 1990, p.135).

Por ello, Vergnaud considera necesario distinguir dos clases de situaciones:

- aquellas para las cuales el sujeto dispone en su repertorio, en un momento dado de su desarrollo y bajo ciertas circunstancias, de competencias necesarias para el tratamiento relativamente inmediato de la situación;
- aquellas para las cuales el sujeto no dispone de todas las competencias necesarias, lo que le obliga a un tiempo de exploración y de reflexión, de dudas, tentativas abortadas, y le conduce eventualmente al éxito o al fracaso.

El concepto de esquema es interesante para ambas clases de situaciones, pero no funciona de la misma manera en ambos casos. En el primer caso se observa para una misma clase de situaciones, conductas muy automatizadas, organizadas por un esquema único; en el segundo caso, se observa el esbozo sucesivo de varios esquemas, que pueden entrar en competición y que, para llegar a la solución buscada, deben ser acomodados, separados y recombinados; este proceso se acompaña necesariamente de descubrimientos.

La noción de esquema incorpora elementos procedimentales (técnicas o modos de actuar) y tecnológicos-teóricos implícitos (conocimientos-en-acción); además, está asociada a una clase de situaciones, entendidas como tareas. En tal sentido, admite una interpretación coherente en términos de los `sistemas de prácticas personales ligadas a un tipo de problemas´ (Godino y Batanero, 1994).

El concepto de esquema se aplica fácilmente a la primera categoría de situaciones que se han mencionado anteriormente, aquellas para las cuales el estudiante dispone de las competencias necesarias, y menos a la segunda categoría puesto que el sujeto duda e intenta varias aproximaciones. Por tanto, la observación de los alumnos en situación de resolución de problemas, el análisis de sus dudas y de sus errores, muestra que las conductas en situación abierta son igualmente estructuradas por los *esquemas*. Éstos son tomados del extenso repertorio de *esquemas* disponibles, y especialmente de los que están asociados a las clases de situaciones que parecen tener una semejanza con la situación planteada.

Simplemente como la semejanza no es sino parcial y eventualmente ilusoria, los *esquemas* son solamente esbozados, y las tentativas se interrumpen antes de haber sido concluidas. Varios *esquemas* se pueden evocar sucesivamente, e incluso simultáneamente en una situación nueva para el alumno (o considerada por él como nueva).

Como las conductas en situación se basan en el repertorio inicial de los esquemas disponibles, no se puede teorizar válidamente sobre el funcionamiento cognitivo sin tener en cuenta el desarrollo cognitivo. La teoría de los campos conceptuales se dirige a este problema crítico.

Cada esquema es relativo a una clase de situaciones cuyas características son bien definidas. En cualquier caso un individuo puede aplicar un esquema a una clase más pequeña que la que se podría aplicar eficazmente. Se plantea entonces un problema de extensión del esquema a una clase más amplia: se puede hablar de deslocalización, generalización, transferencia, descontextualización. No se puede imaginar que un proceso de este tipo interviene sin que sean reconocidas por el sujeto analogías y parentescos (semejanzas sobre ciertos criterios, diferencias sobre otros) entre la clase de situaciones sobre la cual el esquema era ya operatorio para el sujeto, y las situaciones nuevas a conquistar. El reconocimiento de invariantes es, por tanto, la clave de la generalización del esquema.

---

En particular, en la resolución de problemas elementales de campo eléctrico, algunos estudiantes encuentran numerosas dificultades. En términos de esquemas ellos deben analizar datos y reconocer procedimientos para resolver un problema, encontrando frecuentemente que existen varias posibilidades de elección. El reconocimiento de datos durante la lectura del enunciado, los resultados de las mediciones, la búsqueda de información en una documentación (en un libro de texto, en una tabla estadística, etc.), la combinación adecuada de tales informaciones más los cálculos integrales y diferenciales aplicados al concepto de campo obedecen en general a esquemas.

Las inferencias son indispensables para la puesta en funcionamiento del esquema en cada situación particular. En efecto, un esquema no es un estereotipo sino una función temporalizada de argumentos, que permite generar series de diferentes acciones y de recogida de información en función de los valores de las variables de la situación.

Un esquema es siempre un universal puesto que está asociado a una clase, y que, además, esta clase no es, en general, finita.

El funcionamiento cognitivo del sujeto comporta operaciones que se automatizan progresivamente y de decisiones conscientes que permiten tener en cuenta valores particulares de las variables de la situación. La fiabilidad del esquema para el sujeto reposa, en último extremo, sobre el conocimiento que tiene, explícito o implícito, de las relaciones entre el algoritmo y las características de la situación a resolver.

La automatización es evidentemente una de las manifestaciones más visibles del carácter invariante de la organización de la acción. Pero una serie de decisiones conscientes puede también constituir el objeto de una organización invariante para una clase de situaciones dadas. Por otra parte, la automatización no impide que el sujeto conserve el control de las condiciones bajo las cuales tal operación es apropiada o no.

– **La noción de concepto**

Vergnaud (1990) propone una noción de *concepto* de naturaleza cognitiva, al incorporar los invariantes operatorios ‘sobre los que reposa la operacionalidad de los esquemas’ (p.145). Expresamente, dice que respecto de los conceptos matemáticos:

“Una aproximación psicológica y didáctica de la formación de conceptos matemáticos, conduce a considerar un concepto como un conjunto de invariantes utilizables en la acción. La definición pragmática de un concepto pone, por tanto, en juego el conjunto de situaciones que constituyen la referencia de sus diferentes propiedades, y el conjunto de esquemas puestos en juego por los sujetos en estas situaciones” (p.145).

Los invariantes operatorios comprenden conceptos-en-acción y los teoremas-en-acción que Vergnaud (1990) diferencia de los conceptos y teoremas de las teorías científicas. En la ciencia, los conceptos y los teoremas son explícitos y se puede discutir su pertinencia y su verdad’ (p.144). Éste no es necesariamente el caso para los invariantes operatorios. Los conceptos y los teoremas explícitos forman la parte visible de la conceptualización: sin la parte disimulada, formada por los invariantes operatorios, esta parte visible no sería nada. Recíprocamente, no se sabe hablar de invariantes operatorios integrados en los esquemas sino con la ayuda de las categorías del conocimiento explícitas: proposiciones, funciones proposicionales, objetos-argumentos.

“El esquema, totalidad dinámica organizadora de la acción del sujeto para una clase de situaciones específicas, es, por lo tanto, un concepto fundamental de la psicología cognitiva y de la didáctica. No siempre es reconocido como tal. Por otro lado, carece de análisis. Incluso percibiendo fácilmente que un esquema está compuesto por reglas de acción y por

---

anticipaciones, dado que genera una serie de acciones para alcanzar un objetivo, no siempre se reconoce que está también compuesto, de modo esencial, por invariantes operatorios (conceptos-en-acción y conocimientos-en-acción) y por inferencias. Las inferencias son indispensables en el funcionamiento del esquema en cada situación particular” (Vergnaud, 1993, p.5)

Los teoremas en acción son proposiciones, consideradas como verdaderas por el sujeto, sobre un aspecto de la realidad. Los conceptos en acción pueden ser objetos, predicados o bien una categoría de pensamiento considerada como importante o adecuada (Moreira, 2004). Cabe destacar que los conceptos y teoremas-en-acción no son ni verdaderos conceptos ni verdaderos teoremas, pues se orientan hacia el saber hacer y no hacia la conceptualización. O sea, el conocimiento-en-acción permite actuar frente a determinadas situaciones, independientemente de ser verdadero o apropiado de acuerdo a algún criterio científico.

Para Vergnaud (1990) existen fundamentalmente tres tipos lógicos de invariantes operatorios:

- *invariantes del tipo "proposiciones"*: son susceptibles de ser verdaderos o falsos; los teorías-en-acto son invariantes de este tipo;
- *invariantes del tipo "función proposicional"*: no son susceptibles de ser verdaderos o falsos, pero constituyen las piezas indispensables para la construcción de proposiciones.
- *invariantes del tipo "argumento"* que pueden ser objetos materiales, personajes, números e incluso proposiciones

El tipo lógico de los conceptos-en-acción es diferente del tipo lógico de los teoremas-en-acción. Los primeros corresponden a es un objeto, un predicado, o una categoría de pensamiento considerada como pertinente,

relevante; los segundos, a una proposición considerada como verdadera. Para Vergnaud (1990):

“La relación entre funciones proposicionales y proposiciones es una relación dialéctica: no hay proposiciones sin funciones proposicionales y tampoco funciones proposicionales sin proposiciones. De la misma manera conceptos-en-acto y teoremas-en-acción se construyen en estrecha relación.

Entre las funciones proposicionales, es necesario considerar que existen funciones con un argumento (las propiedades), funciones con dos argumentos (las relaciones binarias), funciones con tres argumentos (las relaciones ternarias, entre las cuales se encuentran las leyes de composición binarias), funciones con cuatro argumentos, como la proporcionalidad, funciones con más de cuatro argumentos.” (p.137).

Un concepto no puede ser reducido a su definición, al menos si se está interesado en su aprendizaje y enseñanza a través de situaciones problemáticas. Este proceso de elaboración conceptual es esencial para la psicología y la didáctica.

En resumen, la operacionalidad de un concepto debe ser experimentada por medio de situaciones variadas, y es por esto que en esta tesis se analizan situaciones que dan origen a conductas y a esquemas para comprender en qué consiste, desde el punto de vista cognitivo, tal o cual concepto. Un concepto, como el de campo eléctrico, necesita del análisis del papel del lenguaje y del simbolismo en la conceptualización. Simplemente, si se quiere considerar correctamente la medida de la función adaptativa del conocimiento, se debe conceder un lugar central a las formas que toma en la acción del sujeto que aprende.

El concepto de campo comporta en efecto varias propiedades, cuya pertinencia es variable según las situaciones a tratar. Algunas se pueden

---

comprender casi inmediatamente al presentar el tema, otras más tarde en el complemento de actividades prácticas, de simulación, de resolución de problemas, etc.

Una aproximación psicológica y didáctica de la formación del concepto de campo eléctrico implica considerar al mismo como un conjunto de invariantes utilizables en la acción. La definición pragmática de un concepto pone, por tanto, en juego el conjunto de situaciones que constituyen la referencia de sus diferentes propiedades, y el conjunto de los esquemas utilizado por los estudiantes en estas situaciones. En cualquier caso la acción operatoria, no lo es todo en la conceptualización de lo real. El uso de significantes explícitos es indispensable para la conceptualización.

– **La noción de campo conceptual**

La primera descripción que hace Vergnaud de un campo conceptual es la de 'conjunto de situaciones'. Aclarando que, junto a las situaciones, se deben considerar también los conceptos y teoremas que se ponen en juego en la comprensión de tales situaciones. En efecto, si la primera entrada de un campo conceptual es la de las situaciones, se puede también identificar una segunda entrada, la de los conceptos y los teoremas (Vergnaud, 1990)

Para Vergnaud, los verdaderos conceptos son relacionales y definidos como la terna  $C=(S,R,I)$ , donde **S** es un conjunto de situaciones que dan sentido al concepto, **I** es un conjunto de invariantes operatorios asociados al concepto y que constituyen el significado del concepto y **R** es un conjunto de representaciones simbólicas (lenguaje natural, gráficos y diagramas, sentencias formales, etc.) que sirven para representar de forma explícita los invariantes operatorios. Estos conceptos que el alumno adquiere de manera paulatina, cada vez que se enfrenta a variadas situaciones donde hace falta aplicarlos, pueden ser reconocidos a partir de los significantes que emplea, permitiendo con ello identificar los invariantes que ha puesto en juego.

Vergnaud (1983) considera que:

- El desarrollo de conceptos se vincula a través de la resolución de problemas.
- Las situaciones de resolución de problemas hacen los conceptos significativos.
- Para que se desarrollen conceptos complejos deben ofrecerse situaciones complejas.

Vergnaud complementa su teoría con el concepto clave de mediación, que otorga relevancia a la acción docente para proveer al estudiante las situaciones más productivas para otorgar significado a los conceptos. El lenguaje y los símbolos se integran en este proceso como instrumentos cognitivos indispensables para la transformación de invariantes operatorios implícitos en conceptos y teoremas científicos explícitos (Vergnaud, 1990).

Vergnaud plantea una posible interpretación de la forma en que el estudiante conceptualiza, para un contenido particular, en situaciones específicas. Su teoría claramente tiene implicancias educativas al considerar que una adecuada situación debe reconocer: las dificultades vinculadas con las tareas cognitivas, los obstáculos, los procedimientos y las representaciones de que el individuo dispone (Franchi, 1999).

– **La noción de situación**

Vergnaud otorga al concepto de *situación* el sentido que le da la psicología cognitiva, es decir, los procesos cognitivos y las respuestas del sujeto son función de las situaciones a las cuales son confrontados:

- *la de variedad*: existe una gran variedad de situaciones en un campo conceptual dado, y las variables de situación son un medio de generar de manera sistemática el conjunto de las clases posibles;
- *la de la historia*: los conocimientos de los estudiantes son modelados por las situaciones que han encontrado y dominado progresivamente,

---

especialmente por las primeras situaciones susceptibles de dar sentido a los conceptos y a los procedimientos que se les quiere enseñar.

La primera idea orienta hacia el análisis, la descomposición en elementos simples y la combinatoria de los posibles, mientras que la segunda orienta hacia la búsqueda de situaciones funcionales, casi siempre compuestas de varias relaciones, y cuya importancia relativa está muy ligada a la frecuencia con la que se les encuentra.

En principio, por tanto, toda situación puede ser reducida a una combinación de relaciones de base con datos conocidos y desconocidos, los cuales corresponden a otras tantas cuestiones posibles. La clasificación de estas relaciones de base y de las clases de problemas que se pueden generar a partir de ellas es un trabajo indispensable.

Una situación didáctica desde la perspectiva de Vergnaud es, en primer lugar, una puesta en escena interesante y rica. Las relaciones elementales distinguidas aquí y las clases de problemas que permiten engendrar presentan un interés didáctico moderado, justamente porque son demasiado elementales. Son instrumentos para el análisis de las situaciones y para el análisis de las dificultades conceptuales encontradas por los alumnos.

Toda situación compleja es una combinación de relaciones elementales, y no se puede soslayar el análisis de las tareas cognitivas que estas relaciones permiten generar. Pero la organización de una situación didáctica en un proyecto colectivo de investigación para la clase, supone la consideración a la vez de las funciones epistemológicas de un concepto, de la significación social de los dominios de experiencia a los cuales hace referencia y los roles entre los actores de tal situación (docente-alumno)

La tesis subyacente a la teoría de los campos conceptuales es una buena puesta en escena didáctica que se apoya necesariamente sobre el conocimiento de la dificultad relativa de las tareas cognitivas, de los

obstáculos que habitualmente se encuentran, del repertorio de procedimientos disponibles y de las representaciones mentales posibles. Pero el conjunto forma un todo coherente para un campo conceptual dado; se pueden identificar, especialmente, las principales filiaciones y las principales rupturas, lo que constituye la justificación principal de la teoría de los campos conceptuales.

– **Sobre significados y significantes**

Son las situaciones las que dan sentido a los conceptos físicos y matemáticos, pero el sentido no está en las situaciones mismas. No está tampoco en las palabras y los símbolos matemáticos. Sin embargo, se dice que una representación simbólica, que una palabra o que un enunciado tiene sentido, o varios sentidos, o ningún sentido para los estudiantes. También se puede decir que una situación tiene sentido o no la tiene.

El sentido es una relación del sujeto a las situaciones y a los significantes. Más precisamente, son los esquemas evocados en el sujeto individual por una situación o por un significante lo que constituye el sentido de esta situación o de este significante para este sujeto.

Ya que los significantes y la organización del discurso juegan en ello un papel esencial, existe, por lo tanto, un trabajo teórico y empírico indispensable para clarificar la función del lenguaje y de los restantes significantes. En la teoría de los campos conceptuales, esta función es triple:

- ayuda a la designación y, por tanto, a la identificación de los invariantes: objetos, propiedades, relaciones, teoremas;
- ayuda en el razonamiento y la inferencia;
- ayuda a la anticipación de los efectos y de los fines, a la planificación, y al control de la acción.

---

Es clásico decir que el lenguaje tiene una doble función de comunicación y de representación. Pero se puede de este modo subestimar su función como ayuda del pensamiento, que no está particularmente cubierta por las funciones de representación y de comunicación. Ciertamente que la designación y la identificación de los invariantes responden bien a la función de representación; pero no es seguro que el acompañamiento por el lenguaje de una actividad manual o de un razonamiento provenga solamente de la función de representación.

En efecto, no es en cualquier circunstancia que un estudiante acompañe su acción de una actividad lingüística, sino más bien cuando tiene necesidad de planificar y de controlar una serie de acciones insuficientemente dominadas. Una actividad automatizada se acompaña apenas con palabras.

La actividad lingüística favorece evidentemente la realización de la tarea y la resolución del problema encontrado; sin el cual no intervendrían. Todo ocurre como si la actividad lingüística favoreciera el descubrimiento de las relaciones pertinentes, la organización temporal de la acción y su control. Se llega de este modo a la función de representación del lenguaje, pero esta función es triple:

- representación de los elementos pertinentes de la situación;
- representación de la acción,
- representación de las relaciones entre la acción y la situación.

El lenguaje representa diferentes órdenes de cosas, y la actividad lingüística tiene varias funciones. Es importante centrar la atención sobre las informaciones pertinentes y las operaciones de pensamiento, puesto que ellas forman el armazón de la actividad intelectual:

- las informaciones pertinentes se expresan en términos de objetos (argumentos), de propiedades y de relaciones (funciones proposicionales), de teoremas (proposiciones).

- las operaciones de pensamiento, en términos de selección de informaciones, inferencias, de aceptación o de rechazo de consecuencias, y también en términos de previsión de las operaciones a realizar, de resultados o fines a lograr, de descomposición en etapas del proceso de tratamiento: "hago esto, y después aquello, entonces tendré esto, etc."

La actividad lingüística expresa también otros aspectos importantes, como la implicación del sujeto en la tarea o en el juicio emitido, sus sentimientos, su estimación de la plausibilidad de una hipótesis o de una conclusión. La relación de estos elementos entre sí, pueden favorecer a la resolución de problemas.

#### **3.4.1. LA TEORÍA DE VERGNAUD Y SUS IMPLICANCIAS DIDÁCTICAS PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS**

Para que los estudiantes puedan comprender y apoderarse de los conocimientos que las asignaturas de la currícula quieren transmitir, es imprescindible que los docentes puedan elaborar situaciones o problemas pertinentes, con la disciplina a enseñar dando las explicaciones apropiadas.

Otro punto a considerar es la organización del contenido de la asignatura a enseñar, tarea que atañe al docente. De manera que secuenciar y estructurar el contenido objeto de la enseñanza a través de la resolución de problemas debe atender a la complejidad de esos contenidos.

Vergnaud (1993) le prestó particular atención a la didáctica centrando su atención en el sujeto que aprende y en el rol del docente, se dan a continuación una síntesis de esas consideraciones (Rodríguez Palmero y Moreira, 2002):

- Los docentes son mediadores; deben ayudar a los estudiantes a desarrollar esquemas y representaciones.

- 
- Los estudiantes se vuelven capaces de hacerle frente a situaciones cada vez más complejas desarrollando sus esquemas.
  - Los profesores usan palabras y frases para explicar, preguntar, seleccionar información, proponer metas, reglas, etc; el lenguaje y los símbolos son importantes en ese proceso.
  - La acción mediadora más importante de un docente es la de suministrar a los estudiantes situaciones fructíferas para su aprendizaje.
  - La elección de las situaciones y su secuenciación es esencial para que el alumnado desarrolle esquemas potenciales en lo que Vygostky (1984, p. 112) define su 'zona de desarrollo proximal'.

La propuesta de intervención didáctica, que se detalla en el capítulo 6 de esta tesis, toma en consideración los aspectos más relevantes de esta teoría, poco trabajado aún en la enseñanza de la Física.

### **3.5. APORTES DEL MARCO TEÓRICO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO**

En la actualidad, en la investigación en educación en ciencias se considera importante conocer cómo los estudiantes construyen los conceptos científicos, qué tipo de representaciones mentales construyen, qué procesos cognitivos ocurren, y cómo asimilan sus significados, ya que esto permitiría conocer el desarrollo conceptual como una construcción y diferenciación de significados (Moreira, 2000b, Moreira y Greca 2003) y guiar el diseño de estrategias y recursos de enseñanza para una mejor comprensión del conocimiento científico. Para los fines de la educación en ciencias, es importante que los estudiantes compartan los significados de las ciencias, en el sentido de interpretar el mundo desde el punto de vista de las teorías

científicas, generando nuevas capacidades representacionales que hagan posibles nuevas formas de conocimiento, que les alejen de la inmediatez de los conocimientos intuitivos (Moreira, 1998; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Pozo, 2002). Un aprendizaje significativo de conceptos claves, como el concepto de campo eléctrico, es una condición necesaria para la formación científica de los estudiantes de ingeniería de manera que posibilite la comprensión de los fenómenos físicos y conocimiento de principios que sustentan aplicaciones tecnológicas.

En el discurso del estudiante se encuentran elementos que permiten inferir sus modelos mentales en relación con fenómenos y conceptos físicos. Esto se fundamenta en que los 'modelos internos elaborados por los seres humanos para traducir eventos externos que buscan entender, pueden ser construidos como resultado de la percepción, de la interacción con otras personas, del discurso y de la experiencia interna' (Greca y Moreira, 1996).

En relación con la construcción específica del concepto de campo eléctrico, según Vergnaud (1983) un concepto no puede reducirse a una definición, fundamentalmente si se está interesado por su aprendizaje y su enseñanza. Es a través de las situaciones y de los problemas a resolver que adquiere sentido para un estudiante.

Desde el punto de vista del aprendizaje, el concepto de campo eléctrico requiere comprender que el vector intensidad de campo  $E$  sólo depende de la carga que crea el campo y no de las cargas sobre la que se ejerce la interacción, y una diferenciación neta entre los conceptos de intensidad de campo y fuerza eléctrica. Además, demanda una concepción de campo eléctrico de acción paso a paso frente a una concepción coulombiana de acción a distancia y poseer un dominio de ciertos temas específicos de la Matemática que les permitan comprender y modelar los conceptos físicos involucrados. Para lograr esto los estudiantes deben estar capacitados para distinguir entre magnitudes escalares y vectoriales, sus propiedades y operatorias.

---

En consecuencia, no es de extrañar que los estudiantes encuentren serias dificultades en la adquisición del concepto de campo eléctrico, si se presenta en forma acumulativa, acrítica y aproblemática.

Esta investigación coloca el acento sobre las actividades que se desarrollan en un aula de física poniendo el énfasis en el concepto de campo eléctrico, el análisis de su construcción y en los modos que le dan forma y significado en el aula.

Otro aspecto importante de considerar es la complejidad y amplitud de los significados físicos y matemáticos del concepto de campo, percibiéndose la necesidad de explorar un referencial teórico que permita abordar los vínculos entre la estructura del conocimiento del concepto construido por la Física y la estructura conceptual que los estudiantes tienen del mismo (Vergnaud, 1983).

En el contexto de esta tesis se considera como un campo conceptual: todas las situaciones, problemas, representaciones simbólicas y procedimientos matemáticos que se tratarán como una unidad de estudio alrededor del concepto campo eléctrico **E**. Desde esta perspectiva, se identifican invariantes operatorios en relación con el concepto **E** en las actividades presentadas a los estudiantes universitarios de Física Eléctrica fundamentalmente centradas en situaciones problemáticas (lectura de un texto, resolución de problemas, trabajos prácticos de simulación).

Para conocer la ciencia a través del diálogo, Lemke (2001), encuentra que se necesita conocer el contenido científico. Así, en particular, el concepto de *campo eléctrico* tiene sentido sólo en términos de las relaciones que tiene con otros conceptos e ideas como fuerza eléctrica, carga eléctrica, potencial eléctrico, ley de Gauss, ley de Coulomb, líneas de campo, etc.

El concepto físico *campo eléctrico*, dada la complejidad que envuelve su conceptualización y el desafío cognitivo que implica para los estudiantes, es

una tarea especialmente adecuada para poder crear propuestas didácticas que se encuadren en un contexto cercano al de los alumnos.

Usualmente la enseñanza de *campo eléctrico* tiende a presentar situaciones extremas, sobre todo en lo que concierne a la resolución de problemas: por un lado, situaciones demasiado complejas, alejadas del conocimiento del alumno, inductoras, por ello, de bloqueos cognitivos y afectivos; y por otro, situaciones problemáticas rutinarias, correspondientes a aquello que el estudiante ya sabe resolver. Ambas situaciones, aunque por razones diferentes, son incapaces de funcionar como estímulo y motor del desarrollo cognitivo del estudiante.

Explicar y predecir acerca de los fenómenos eléctricos es comprenderlos y ello requiere la construcción de modelos mentales que actúen como análogos estructurales de los mismos, como intermediarios a la luz de los cuales adquieran significado los conceptos científicos y las relaciones que se establecen entre ellos para adquirir esa comprensión (Moreira, 1997).

Una situación dada o un simbolismo particular no evocan en un sujeto todos los esquemas disponibles. Cuando se dice que *campo eléctrico* tiene tal sentido, se produce la activación de hecho de un subconjunto de esquemas, con una posterior selección, operando de este modo una restricción en el conjunto de los esquemas posibles (coulombiano, maxwelliano). Desarrollar conocimiento es una construcción paulatina de representaciones mentales que dan cuenta del fenómeno real, terminando en la formación de esquemas (Rodríguez Palmero y Moreira, 2002). Un esquema de asimilación, como organización invariante de la conducta que incluye invariantes operatorios, es una estructura mental estable. De manera que se debe establecer un puente entre lo que constituye la representación primera (un modelo mental de acuerdo con la teoría de Johnson-Laird) y lo que permanecerá en la memoria de largo plazo (un esquema según Vergnaud).

---

Tomando como fundamento el trabajo de Llancaqueo, Caballero y Moreira (2003), el proceso de aprendizaje de *campo eléctrico* debe incluir:

- Las propiedades de las operaciones físicas, que son los principios y leyes físicas expresadas en términos de las operaciones y propiedades de los objetos matemáticos, tales como: las ecuaciones de continuidad para la conservación de la carga, las leyes de Gauss, Faraday y Ampère, las ecuaciones de Maxwell, y además las leyes de conservación de la energía asociada al campo electromagnético.
- El conjunto de invariantes matemáticos tiene por elementos los significados de los conceptos de escalar, vector, tensor, función, más las operaciones y propiedades del álgebra vectorial y las operaciones y propiedades del cálculo diferencial e integral, donde las operaciones del álgebra vectorial son: adición, producto entre un escalar y un vector, producto escalar y producto vectorial entre vectores.
- Las propiedades del álgebra vectorial, se refieren a las propiedades de las operaciones que definen un espacio vectorial, o sea, para la adición, las propiedades: conmutativa, asociativa, elemento identidad y elemento inverso; y para el producto entre un escalar y vector: las propiedades: asociativa respecto a un producto de escalares, distributiva respecto a la suma de vectores, distributiva respecto a una suma de escalares y la existencia del elemento identidad.
- Las principales operaciones del cálculo con las que se expresan las propiedades del *campo eléctrico* son: límite, derivada, integral de funciones escalares y vectoriales, diferencial exacta, gradiente de un campo escalar, divergencia, rotor, circulación y flujo de un campo vectorial.
- Las principales propiedades del cálculo se refieren a los teoremas de continuidad, las relaciones entre campos conservativos y potencial, y los teoremas de la divergencia y del rotor. Es un conjunto de

representaciones simbólicas y pictóricas usadas en las situaciones, es decir, representaciones empleadas en los problemas y fenómenos físicos, más las representaciones simbólicas de los invariantes operatorios físicos y matemáticos, o sea, las representaciones de los principios y leyes físicas, y de las operaciones matemáticas y sus propiedades.

- Las principales representaciones de los fenómenos físicos y de los invariantes físicos y matemáticos atribuibles al concepto de *campo eléctrico*, son las representaciones geométricas (vectores) y representaciones analíticas de componentes del álgebra vectorial.
- Las representaciones proposicionales de ecuaciones, gráficas y pictóricas tales como tablas, gráficos, vectores **E** y **F**, líneas de fuerza, superficies equipotenciales, campo escalar y campo vectorial, usados en las situaciones didácticas.
- Invariantes operatorios de los esquemas que dan significado al concepto de campo eléctrico **E**, es decir, invariantes que describen el campo **E** como una función vectorial definida en todo punto de una región del espacio y el tiempo; invariantes de las magnitudes físicas que se describen como campo eléctrico, e invariantes que describen las propiedades y leyes físicas que cumplen dichas magnitudes.
- Representaciones simbólicas, referidas a formas de lenguaje que permiten representar las situaciones, problemas e invariantes operatorios del concepto de *campo eléctrico*, tales como, representaciones simbólicas gráficas, lingüísticas, pictóricas y analíticas.

En consecuencia, esta teoría puede ser aplicada para guiar investigaciones sobre el aprendizaje del concepto de *campo eléctrico* (Greca y Moreira, 2002; Moreira, 2002b), si se identifican situaciones que den sentido a este concepto, para luego investigar los invariantes operatorios usados por los

---

estudiantes que les permitan comprender y explicar las representaciones simbólicas que ayudan a la conceptualización y asimilación de su significado.

Se plantea, sin embargo, la cuestión de la función de los significantes en el pensamiento y de la naturaleza de los esquemas que organizan el tratamiento de los significantes, en su comprensión y en su producción. Cabe preguntarse: ¿qué funciones cognitivas es necesario atribuir al lenguaje y a las representaciones simbólicas, en la actividad de resolución de problemas de campo eléctrico?

Se considera con certeza que la Física Eléctrica forma un cuerpo de conocimientos que responden a problemas teóricos y prácticos que se ha planteado la humanidad en el curso de su historia; pero no se responde de este modo sino parcialmente a la cuestión ¿cómo define campo eléctrico la Física Eléctrica?

En síntesis:

La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud son teorías cognitivas que profundizan aspectos relacionados con el aprendizaje significativo, acordando en los presupuestos expresados por Ausubel (1963, 1976, 2002). Ellas se focalizan en los procesos mentales superiores: la Teoría de los Modelos Mentales se centra sobre aquellos relacionados con la comprensión y la inferencia, mientras que a segunda, estudia el proceso de conceptualización que acompaña el aprendizaje de la ciencia y la técnica.

Los aspectos básicos de las tres teorías que se han presentado en este capítulo constituye el marco de referencia desde el cual se indagará, en los próximos capítulos, el aprendizaje del concepto de campo eléctrico que realizan estudiantes universitarios de ingeniería en el contexto real de su formación básica y las condiciones en que se enmarca su enseñanza. En particular, en el capítulo 6 se analizará específicamente la implementación

de una propuesta didáctica sustentada en la Teoría de los Campos Conceptuales.

## CAPÍTULO 4

### ENFOQUE METODOLÓGICO

#### ETAPA I: ESTUDIO PRELIMINAR DEL CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

##### 4.1. INTRODUCCIÓN

Investigar para intervenir en las aulas de Física requiere comprender el medio complejo que preside y media los intercambios simbólicos entre los individuos y grupos que la componen:

- *la estructura de las tareas académicas*: define el curriculum en acción (Gimeno Sacristán, 2008), tanto el explicitado y definido oficialmente como el oculto y el ausente. Expresa la cultura académica que se vive en la institución, que se reproduce y se transforma. Abarca tanto los contenidos como los métodos, experiencias, actividades y estrategias de aprendizaje, así como los mecanismos de interacción y control asumidos;
- *las condiciones pedagógicas del aprendizaje significativo*: implica los aspectos a ser considerados para la internalización progresiva de conceptos y relaciones asociadas con un contenido disciplinar

recurriendo a materiales potencialmente significativos (Ausubel, 1976);

- *el sujeto de aprendizaje*: atiende a las características individuales del estudiante, tales como: el factor cognitivo, los modos de actuación al resolver problemas, las interacciones en las situaciones de aula, los modelos mentales construidos, las resistencias al cambio, la socialización en la actividad de aula (Ausubel, Novak y Hanesian, 1991; Johnson-Laird, 1996);
- *el docente y los materiales y recursos didácticos que sustentan su práctica*: Indica, en una situación de enseñanza, como actúa el docente para cambiar significados de la experiencia del estudiante, utilizando materiales didácticos (Ausubel, Novak y Hanesian, 1991).

La investigación desarrollada en esta etapa de la tesis estuvo orientada a analizar las situaciones de aprendizaje que acontecen en el aula cuando se enseñan a resolver y se resuelven problemas de campo eléctrico. Se buscó profundizar en cuestiones relacionadas con la comprensión del concepto de campo eléctrico y el rendimiento de los estudiantes en los exámenes y, en función de los resultados, estudiar la efectividad de una propuesta de intervención didáctica.

De esta forma la investigación comprendió dos etapas.

a) La *Etapa I* se centró sobre la comprensión del concepto de campo eléctrico por estudiantes universitarios de Física Eléctrica, con una fase I, de carácter preliminar, analizando las condiciones que acompañan el desarrollo del contenido *campo eléctrico* en dos aulas de instituciones universitarias distintas y en el tiempo destinado habitualmente al tratamiento de dicho concepto. La misma se continuó con la fase II centrada en las actuaciones de los estudiantes durante el examen, como expresión individual de su aprendizaje.

Así, la Etapa 1 estuvo orientada por el objetivo general presentado en el capítulo 1:

- 
- Conocer los procesos que acompañan la comprensión de los enunciados de problemas de campo eléctrico que realizan estudiantes universitarios de Física Eléctrica y su relación con los procedimientos de resolución derivados.

En relación con él se establecieron los siguientes objetivos específicos para dar respuestas a las preguntas expuestas en el apartado 1.6 en el capítulo 1:

- Identificar indicadores de comprensión de problemas de campo eléctrico ante diferentes tipos de enunciados y contextos involucrados presentes en los textos universitarios y en las guías de prácticas de cátedra.
- Caracterizar los modelos mentales organizados por los estudiantes durante la comprensión de los enunciados de problemas de campo eléctrico, estudiando los criterios que utilizan para establecer la completitud y la representatividad de los modelos organizados.
- Analizar las estrategias que incorpora el estudiante al resolver problemas de campo eléctrico.
- Identificar los componentes del lenguaje que actúan como reguladores de la comprensión y de la resolución desde la perspectiva docente y desde la del estudiante.

En esta etapa juega un rol importante la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel complementada con la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird. Esta teoría provee un marco para analizar las representaciones mentales (proposiciones, modelos mentales e imágenes) de los estudiantes cuando resuelven problemas, como sobre los procedimientos que ponen en juego durante la resolución.

La complejidad de los procesos que se desarrollan en el aula cuando se enseñan a resolver y se resuelven problemas de campo eléctrico, llevó a

adoptar para la fase I de esta etapa una metodología cualitativa para seleccionar criterios de comprensión, de pertinencia y no de representatividad estadística, con un perfil interpretativo acerca del modo en que los alumnos incorporan el concepto de campo eléctrico, es decir, todos los componentes que indiquen relaciones relevantes en el discurso. Se partió de suponer que las personas actúan en función de sus creencias, percepciones, sentimientos y valores y que su comportamiento tiene siempre un sentido, un significado que no se da a conocer de modo inmediato, sino que precisa ser expuesto.

En la fase II se recurrió a técnicas cuantitativas para dar respuestas a las hipótesis planteadas en el apartado 1.9.1 del capítulo 1. Se consideró que las hipótesis planteadas darán evidencias empíricas acerca de procesos de resolución en los problemas de examen.

b) La *Etapa II* consistió en un estudio evaluativo de una propuesta de intervención didáctica en un curso de Física Eléctrica de la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional. Los aspectos metodológicos de la misma se desarrollarán en el Capítulo 6. Esta etapa estuvo orientada por el tercer objetivo general mencionado en el capítulo 1:

- Implementar y evaluar una propuesta de intervención didáctica, centrada en estrategias de comprensión, para favorecer el proceso de resolución de problemas de campo eléctrico en los cursos de Física Básica.

La Teoría de los Campos Conceptuales proporciona un encuadre teórico a las investigaciones sobre las actividades cognitivas complejas especialmente referidas a los aprendizajes científicos y técnicos. Esta teoría permite analizar la relación entre conceptos en tanto que conocimientos explícitos y los invariantes operatorios implícitos en las conductas del sujeto en situación.

En este capítulo se presenta la metodología con la que se desarrolló la

---

investigación realizada en la etapa I.

#### **4.2. EL ENFOQUE METODOLÓGICO EN EL DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

En la fase I de la etapa I, se adoptó un enfoque cualitativo-interpretativo (Moreira, 2002a) que está orientado básicamente a comprender el problema que interesa investigar que, en esta tesis, es el significado que los estudiantes construyen del concepto de *campo eléctrico* en un aula de Física Eléctrica y las dificultades/logros que reconocen los docentes responsables de su enseñanza.

Para Erickson (c.p. Moreira, 2002a) la investigación interpretativa involucra:

- a- intensa y larga participación en el contexto investigado;
- b- cuidadosos registros de lo que ocurre en dicho contexto juntamente con otras fuentes de evidencia (apuntes, documentos, ejemplos de cosas hechas por los sujetos, grabaciones en audio o video);
- c- análisis reflexivo de todos esos registros y evidencias así como descripción detallada (utilizando la narrativa y transcripciones literales de verbalizaciones).

La finalidad de este enfoque estuvo orientada a la comprensión de los fenómenos educativos, a través del análisis de las percepciones e interpretaciones de los sujetos que intervienen en la acción educativa. En la comprensión se pretende llegar a la captación de las relaciones internas y profundas, indagando en la intencionalidad de las acciones y en las percepciones de los sujetos.

La tarea de la investigación interpretativa por parte de la tesista fue fijar la atención en la selección de aquellos aspectos relacionados con la enseñanza del concepto *campo eléctrico* que acaecieron dentro de dos aulas de clase

de la asignatura Física Eléctrica en el intervalo de tiempo asignado normalmente en el cronograma de la asignatura. Interesó obtener información relevante, fiable, adecuada y reunida a tiempo para emitir juicios de valor, que llevara a la toma posterior de decisiones relacionada con la Etapa II de esta tesis (que se presenta en el capítulo 6), centrada en una propuesta de intervención evaluativa.

En forma complementaria, en la fase II se recurrió a aspectos cuantificables de los fenómenos educativos analizados para constatar las relaciones introducidas en las explicaciones de acuerdo con un conjunto de hipótesis orientadoras.

Se aplicó un estudio correlacional que tuvo como objeto conocer la interrelación simultánea de categorías con las que fueron analizadas las resoluciones de los problemas de examen por los estudiantes que cursaron Física Eléctrica en el año académico 2007. Se buscó un nivel del conocimiento de aspectos que pudieron ser cuantificados a través del coeficiente de contingencia que da el grado de la asociación de variables cualitativas nominales, que tienen dos o más modalidades, centrándose en la descripción de los fenómenos analizados.

### **4.3. EL CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN**

Como se señalara anteriormente, la investigación desarrollada en la Etapa 1, se organizó en dos fases:

Fase I: centrada sobre la enseñanza y el aprendizaje del concepto de campo eléctrico en el aula;

En esta fase la investigación se realizó en dos cursos de Física Eléctrica: uno, con 15 estudiantes, de la Facultad de Ingeniería Química – Universidad

---

Nacional del Litoral (FIQ-UNL) y otro, con 45 estudiantes, de la Facultad Regional Santa Fe – Universidad Tecnológica Nacional (FRSF-UTN).

Fase II: centrada sobre el aprendizaje de los alumnos sobre el concepto de campo eléctrico, que se evidencia en las evaluaciones escritas de quienes se presentaron a los exámenes (parcial y final)<sup>3</sup> en el año académico 2007, que incluye los exámenes de febrero-marzo de 2008.

En esta fase se analizaron los problemas asociados al concepto de campo eléctrico de dos muestras de 50 alumnos cada una, correspondientes a ambas Facultades.

En los apartados siguientes se señalan aspectos generales de ambas instituciones universitarias que desarrollan su proyecto formativo en la ciudad de Santa Fe, de modo de caracterizar el contexto en que se desarrolló la investigación.

#### **4.3.1. PRESENTACIÓN INSTITUCIONAL DE LA FIQ-UNL**

A la Facultad de Ingeniería Química asisten, aproximadamente, 2000 alumnos distribuidos en los turnos mañana y tarde. La Facultad funciona desde 1918, con una vasta tradición en la formación de profesionales en el área de la Ingeniería Química y la Licenciatura en Química, contando con un reconocimiento relevante en el ámbito de la educación superior en el ámbito nacional e internacional. En la actualidad se desarrollan las carreras de Ingeniería Química, Ingeniería en Alimentos, Ingeniería Industrial, Licenciatura en Química, Licenciatura en Matemática Aplicada, Analista Industrial, Químico Analista, contando con estudiantes que proceden de diferentes puntos geográficos del país, debiendo realizar cursos de articulación para el ingreso a la Universidad. Tales cursos, comunes a todas las carreras y obligatorios para todos los ingresantes, proponen favorecer la

---

<sup>3</sup> Cabe aclarar que la asignatura Física Eléctrica se promociona por parciales. Aquel estudiante que no logra la promoción rinde un examen final en turno de examen en las dos instituciones universitarias.

incorporación a la vida universitaria, brindando conocimientos sobre la problemática universitaria y la actividad científica y profundizando contenidos en diferentes áreas básicas para facilitar el cursado de las materias del primer año de las distintas carreras.

Comprenden dos áreas de articulación: General y Disciplinar. Los Cursos de Articulación General tratan temáticas vinculadas con la vida y el pensamiento propios de la universidad. Son comunes a todos los ingresantes a la UNL y se cursan únicamente en febrero. Los estudiantes ingresantes a las carreras de la Facultad de Ingeniería Química deben cursar Matemática y Química una sola vez, pudiendo optar por hacerlo durante los meses de octubre y noviembre, de forma adelantada, o en el mes de febrero.

El campo ocupacional de los ingenieros químicos o en gestión es muy vasto ya que pueden planificar, organizar, dirigir y montar industrias que involucren procesos químicos, fisicoquímicos o de bioingeniería como, por ejemplo, industrias petroquímicas, farmacéuticas o de alimentos. En cuanto a la Ingeniería Industrial es un área profesional con una amplia versatilidad que incluye el análisis, el diseño, modificaciones y mejora de performance, instalación, evaluación y control de sistemas socio-técnicos complejos, que involucran recursos humanos, equipamientos, materiales, servicios e información. El ingeniero en alimentos está altamente calificado para diseñar, organizar y dirigir establecimientos industriales donde las materias primas se someten a transformaciones físicas, químicas y microbiológicas para la producción de alimentos o sustancias que formen parte de los mismos. El licenciado en Química está capacitado para la proyección, instalación y dirección de laboratorios de análisis químicos y de síntesis de productos químicos industriales y de investigación.

Estas carreras tienen en común un ciclo inicial (básico), donde el estudiante debe adquirir una sólida formación en Matemática, Física, Química e Informática. Al finalizar este ciclo se expide el diploma de

---

Bachiller Universitario en Ingeniería que no habilita para el ejercicio profesional. La formación se completa con un ciclo superior profesional que profundiza la formación para cada una de las especialidades con sus características específicas.

La Facultad de Ingeniería Química cuenta con una organización académica en siete Departamentos (Matemática, Física, Química, Ingeniería Química, Ingeniería Industrial, Ingeniería en Alimentos, Industria y Gestión Ambiental) siendo el Dpto. de Física aquel al que pertenece la cátedra seleccionada para la observación. Dicho Dpto. cuenta con veintidós docentes con las siguientes categorías: tres Profesores Titulares, dos Profesores Asociados, cuatro Profesores Adjuntos, diez Jefes de Trabajos Prácticos, un Ayudante de primera y dos Ayudantías de segunda. La jefatura del departamento coordina las tareas académicas y las de investigación entre las que se destacan las áreas de Física de Semiconductores, Física de Superficie y Educación en Física.

El Dpto. cuenta con dos laboratorios, uno de ellos dedicados a Física I (Mecánica y Ondas) y Física II (Electricidad, Magnetismo y Óptica), el otro a la "Feme" (Fundamentos de Espectroscopia Molecular). También dispone de un aula multimedia equipada con ordenadores, TV y video.

#### **4.3.2. PRESENTACIÓN INSTITUCIONAL FRSF-UTN**

La Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional, integra el grupo de las cinco Facultades fundacionales de la Universidad Tecnológica Nacional. Cuenta en la actualidad con 24 Facultades Regionales distribuidas en todo el país y 5 Unidades Académicas.

En la década de 1950 comienza a funcionar la Universidad Tecnológica Nacional en Santa Fe dictando sus primeras clases en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral y la Escuela Industrial Superior dependiente de dicha Universidad.

Posteriormente se instala la parte académica en un inmueble de calle San Jerónimo N° 1933 y las oficinas administrativas en otro de calle San Martín N° 2050. Al terminarse el nuevo edificio en la Av. Costanera al 6000, en 1978, se realizó su traslado definitivo.

La UTN es hoy una de las tres universidades más grandes de Argentina, en cuanto al volumen de alumnos. Tiene una distribución federal con 29 Facultades y Unidades académicas extendidas por todo el país, especializadas en la enseñanza de la ingeniería y temas relacionados, más su Rectorado que funciona en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

En sus cincuenta años de vida académica ha establecido fuertes lazos con el sector productivo de la región litoral y toda la comunidad, constituyéndose en un centro de referencia en temas de ingeniería, energía, transporte, vivienda social, informática y ensayo de materiales, entre otros.

La Facultad Regional Santa Fe de la UTN cuenta con un plantel aproximado de 300 docentes e investigadores, 70 no docentes, y 2600 alumnos. La organización académica está estructurada en cinco departamentos de Ingeniería (Civil, Eléctrica, Mecánica, Sistemas de Información, Industrial) y el departamento de Materias Básicas que dicta las asignaturas del Ciclo General Básico Común a todas las carreras de Ingeniería. El departamento de Materias Básicas está constituido por cinco Unidades Docentes Básicas (Matemática, Física, Química, Idiomas y Sociales).

La Dirección de Ingreso a la Universidad (DAU) dicta en forma presencial y a distancia los cursos de ingreso de Matemática y Física a cargo de los docentes del departamento de Materias Básicas.

La cátedra observada Física Eléctrica pertenece a la carrera de Ingeniería Mecánica y está bajo la dirección de un director de la Unidad Docente Básica Física. Ésta última cuenta con un laboratorio de Física donde se realizan los trabajos prácticos de las asignaturas de Física I (Mecánica) y Física II

---

(Electricidad, Óptica y Calor). La estructura de cátedra es rígida y compuesta por un profesor y un ayudante.

#### **4.4. ETAPA I: ESTUDIO PRELIMINAR DEL CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS**

##### **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

*La selección de métodos, técnicas e instrumentos estuvo orientada para la recolección de información que oriente las respuestas a las siguientes preguntas, explicitadas en el apartado 1.6 del capítulo 1:*

1. ¿Qué perfil epistemológico define la comprensión de los enunciados de problemas de campo eléctrico y su enfoque de resolución?
2. ¿Qué tipo de problema favorece procesos de resolución para integrar el concepto de campo eléctrico en un perfil maxwelliano?
3. ¿Qué obstáculos inhiben la adecuada resolución de problemas que involucran el concepto de campo eléctrico en algunos estudiantes en el tiempo de cursado habitual? ¿Es un problema de comprensión o de carencias de procedimientos o de estrategias de resolución?

##### **4.4.1. FASE I: INVESTIGACIÓN PRELIMINAR**

Esta fase de la investigación se organizó centrando el interés en la enseñanza y el aprendizaje del concepto de campo eléctrico. El estudio estuvo orientado a:

- obtener información sobre rasgos asociados con la problemática específica de la enseñanza-aprendizaje del concepto de campo eléctrico en el aula;
- detectar tendencias en las organizaciones conceptuales y en los

comportamientos procedimentales evidenciados en las actuaciones de los estudiantes;

- identificar relaciones potenciales que sugieran posibles modelos mentales subyacentes;
- analizar los procesos desarrollados durante la comprensión de enunciados de problemas de campo eléctrico, identificando las dificultades y sesgos introducidos por los estudiantes.

En esta Fase I se adopta un enfoque cualitativo-interpretativo, que no busca la generalización sino el desarrollo de conocimientos representativos de la realidad del aula.

Erickson (1986, c.p. Moreira, 2002a) utiliza el término investigación interpretativa para referirse al enfoque de investigación participativa observacional, para "...evitar la idea de que no es esencialmente no cuantitativa y por señalar al interés central de la investigación que es el significado humano en un contexto social" (p.27). En el caso de esta tesis la investigación se centró en la comprensión del concepto de campo eléctrico en un aula, a fin de descubrir las impresiones de docentes y estudiantes en interacción, compartiendo y creando significados a través de los discursos lingüístico y científico.

Se utilizaron distintas fuentes de datos (observaciones, encuestas, análisis de documentos escritos, entrevistas no estructuradas, entre otras) y se interpretó la información en el marco de la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel-Novak y la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird, considerando que aquello que los sujetos estudiados suponen, significan, procesan o construyen es idiosincrásico, personal y cambiante, depende de sus experiencias y conocimientos previos y sostiene una peculiar manera de explicar. Las diferentes técnicas de recolección de datos, los diferentes sujetos que brindaron información y evidencias y la definición de categorías de análisis sustentadas en los marcos teóricos

---

adoptados permitieron dar una respuesta holística a la cuestión de credibilidad del estudio interpretativo adoptado (Taft, 1988, c.p. Moreira, 2002a).

Se realizó el estudio en el año 2007 en dos cursos de Física Eléctrica, correspondiente uno, con 15 estudiantes, a la Carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería Química perteneciente a la Universidad Nacional del Litoral (FIQ-UNL) y otro equivalente, con 45 estudiantes, a la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad Regional Santa Fe perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional (FRSF-UTN), siendo el docente a cargo del dictado de los cursos el mismo, con las siguientes particularidades:

a) En la FIQ-UNL el docente es parte de una cátedra constituida por dos profesores adjuntos, uno de los cuales es el coordinador de la asignatura Física Eléctrica y cuatro ayudantes de cátedra que atienden a distintos grupos de alumnos. Las observaciones se realizaron en un grupo al que están afectados un profesor adjunto y un ayudante de cátedra, los mismos no tienen decisión sobre las políticas académicas a instrumentar en dicho curso.

b) En la FRSF- UTN la estructura de la cátedra Física Eléctrica está constituida por un profesor titular y un ayudante de cátedra encargado de los trabajos prácticos de laboratorio. El docente a cargo de la cátedra es el mismo profesor del grupo en la Facultad de Ingeniería Química – UNL y tiene poder de decisión académica para actuar sobre el dictado de la asignatura. Por este motivo se seleccionó a este curso para realizar la intervención didáctica, que se describirá en el capítulo 6. Este profesor es un docente preocupado por la enseñanza-aprendizaje de la Física, participa y dirige proyectos de investigación; motiva a sus estudiantes y tiene un muy buen concepto entre los mismos. Además planifica sus clases concienzudamente teniendo en cuenta el nivel de los alumnos, la complejidad de los

contenidos a abordar y participa de los trabajos prácticos activamente junto al docente auxiliar.

En ambos cursos se realizaron registros en situación tanto de enseñanza como de evaluación. La situación de enseñanza se realizó en el aula observando, en ambos cursos, las cuatro clases en que se desarrollaron contenidos y/o actividades prácticas relacionadas con campo eléctrico. Se registró la forma de intervención del docente y del estudiante, se analizaron aspectos relacionados con: la comprensión del concepto desde cuatro dimensiones de análisis -epistemológica, lingüística, psicológica y metodológica-, los dibujos utilizados como recurso para la comprensión y las estrategias basadas en la recuperación de esquemas de trabajo previo. La Teoría del Aprendizaje Significativo, complementada con la de Modelos Mentales de Johnson-Laird conformó el marco teórico para describir e interpretar la adquisición de los significados trabajados en el aula. Se complementó con:

- entrevistas a los docentes, a fin de reconocer modalidades de regulación y control de la comprensión y el modelado;
- encuestas aplicadas a docentes y estudiantes orientadas a conocer las opiniones sobre los enunciados de los problemas que se utilizan en el aula y en los exámenes, las dificultades que se reconocen en la comprensión y resolución de los mismos.

En esta etapa se realizaron las actividades que se detallan a continuación:

– **Observación participante:** Se efectuó en tres clases de resolución de problemas y una de trabajos prácticos de laboratorio durante las semanas en que se desarrollaron cuestiones relativas a campo eléctrico, según se indica en el cronograma de la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1.** Cronograma establecido por las asignaturas de Física Eléctrica (FIQ-FRSF) para el desarrollo de los contenidos relacionados con campo eléctrico

<b>Semana</b>	<b>Teorías-Coloquio-Problemas</b>	<b>Trabajos prácticos de laboratorio</b>
1	Electrostática - Ley de Coulomb	-----
2	Primer clase de resolución de problemas	-----
3	Campo Eléctrico - Ley de Gauss. Aplicaciones de la ley de Gauss	TP1.Experiencias demostrativas de electrostática (Laboratorio de Física)
4	Segunda clase de resolución de problemas	-----
5	Tercera clase de resolución de problemas.	-----
6	Potencial Eléctrico,	-----
7	Problemas de Potencial Eléctrico Condensadores	-----

Se consideró que estas instancias de enseñanza-aprendizaje son potencialmente ricas en información relevante ya que durante ellas el alumno se enfrenta a las dificultades conceptuales que presenta el tema en cuestión y hace explícitas sus creencias, dudas y modos de establecer relaciones conceptuales. Se registraron en el diario de campo los acontecimientos, las conductas, las formas de actuación comunes o singulares. La observación en el campo se consideró imprescindible para ir más allá de las meras verbalizaciones sobre el pensamiento o la conducta y detectar el reflejo en la práctica de las representaciones subjetivas.

Se hizo un especial registro de los problemas cuya resolución se abordó durante las clases. En particular, se analizaron los enunciados de dichos problemas teniendo en cuenta cuatro categorías:

- *estructura*: la misma analiza el tipo de problemas (abierto, semiabierto o cerrado), las características del enunciado (formatos, datos, información brindada y su vinculación con la formación específica de la carrera);
- *lenguaje*: atiende al modo en que se presenta el enunciado y al nivel de abstracción requerido para su decodificación, es decir, al proceso de representación mental de las palabras a fin de dotarlas de significado. Se tomaron los aportes que Ausubel y otros (1991) hicieron sobre la comprensión de las condiciones del problema a través del lenguaje, buscando palabras o expresiones que el estudiante deba: otorgar significado en un contexto conceptual, relacionar con conceptos previos para su interpretación, organizar representaciones mentales como mecanismo para comprender el modo según el cual se interpreta una situación o evento, de acuerdo con la Teoría de los Modelos Mentales Johnson-Laird (1983, 1996);
- *contenido conceptual requerido*: atiende a los conceptos involucrados en relación con la situación problemática presentada y, en particular, a la orientación sugerida hacia un perfil dado (coulombiano/maxwelliano) según fuera desarrollado en el capítulo 2. En este sentido, interesa identificar los conceptos asociados y las relaciones que los vinculan;
- *procedimientos requeridos*: tiene en cuenta las relaciones y secuencias de etapas necesarias para la resolución. Según Ausubel y otros (1991) las estrategias en la resolución de problemas muestran las mismas características que la formación de conceptos. Reflejan el tipo de problemas desarrollados y las condiciones en que ocurre la resolución. Desde la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird se puede inferir a través de la resolución de problemas un modelo mental que representaría un estado de cosas

---

y, por lo tanto, su estructura no es arbitraria

Los registros de campo fueron analizados inmediatamente después del desarrollo de las clases con el objeto de identificar y captar los posibles significados (lingüísticos, epistemológicos, metodológicos y psicológicos) que durante la clase se pusieron en evidencia y/o se construyeron por la interacción dialógica entre los diferentes actores (docentes y estudiantes).

En estos registros se consignaron los problemas trabajados en cada clase, propuestos a los estudiantes en la guía correspondiente a campo eléctrico.

Las observaciones registradas fueron de carácter no participativo, se realizaron en las tres clases de resolución de problemas y una de trabajos prácticos. Posteriormente se analizó la documentación transcrita de las mismas. Los datos recopilados fueron analizados desde cuatro dimensiones, derivadas de las consideraciones teóricas presentadas en el capítulo 3 e histórico-epistemológicas desarrolladas en el capítulo 2.

En la tabla 4.2, se presentan las mismas indicando las modalidades asociadas y el código utilizado para el procesamiento de los registros.

La asignación de la dimensión a cada registro fue analizada en base a lo establecido en la tabla 4.2. La dimensión epistemológica (E) involucró a las proposiciones vinculadas a la construcción de conceptos, perfil adoptado y nivel de abstracción requerido para la construcción de conceptos. En la dimensión lingüística (L) se tomaron en cuenta los niveles en la comprensión de los enunciados y datos para las distintas actividades observadas en el aula.

La dimensión psicológica (P) implicó poner en evidencia las acciones del sujeto frente las actividades desarrolladas (resolución de problemas, trabajo práctico de laboratorio, exámenes, etc.). En cuanto a la dimensión metodológica (M) se tuvo en cuenta la incidencia de la estructura curricular adoptada en la asignatura como el estilo del propio docente.

En las observaciones registradas se focalizó en los datos aportados por los alumnos a través de sus producciones, de manera de detectar las evidencias que permitían inferir los modelos mentales construidos por estudiantes en los procesos de razonamiento, resolución de problemas y análisis de situaciones en los trabajos prácticos de laboratorio.

Se trató de reconocer posibles modelos mentales analógicos y proposicionales.

**Tabla 4.2.** Dimensiones de análisis y modalidades utilizadas para procesar los instrumentos utilizados en Fase I. (En la 3º columna se muestra los códigos correspondientes.)

Dimensiones	Modalidad	Código
<i>Epistemológica:</i> atiende al perfil (coulombiano/ maxwelliano) asumido para interpretar las interacciones entre cargas.	Componente formal: tiene en cuenta el contenido matemático (simbólico y geométrico)	E <sub>1</sub>
	Componente física: tiene en cuenta los conceptos disciplinares sobre los que se asienta la comprensión y resolución del problema.	E <sub>2</sub>
<i>Lingüística:</i> asociada fuertemente al discurso verbal de los actores involucrados para describir, explicar y justificar las distintas actividades en el aula	Numérica: corresponde a las resoluciones en las que predomina el cálculo.	L <sub>1</sub>
	Literal: cuando se ofrece una justificación utilizando palabras	L <sub>2</sub>
<i>Psicológica:</i> relacionada con la estructura cognitiva del sujeto que aprende.	Voluntad: se explicita cuando aparece la predisposición para aprender	P <sub>1</sub>
	Estrategias cognitivas: asociadas con la construcción de modelos y el establecimiento de relaciones entre conceptos	P <sub>2</sub>
Metodológica: referida al diseño y a la estructura curricular de la asignatura Física Eléctrica.	Centrada en el currículum: asociada a las características del cursado de la asignatura	M <sub>1</sub>
	Centrada en el docente: refleja el estilo adoptado durante el desarrollo de la asignatura	M <sub>2</sub>

---

– **Encuestas:** .se elaboraron cuatro tipos de encuestas: una destinada a los docentes y las otras para los estudiantes.

a) *Encuesta para el docente:* La idea original fue realizar una entrevista, pero casi la mayoría de los docentes no accedieron a ella alegando falta de tiempo y solicitaron hacerla por escrito. Por tal razón, se recurrió a este instrumento para buscar información sobre el ámbito de trabajo, la formación académica y el grado de acuerdo, establecido con una escala tipo Likert con cuatro valores ordinales como escala de puntuación (Ander-Egg, 1995), sobre posibles factores atribuidos a las dificultades de los estudiantes al utilizar el concepto de campo eléctrico. El uso de cuatro valores fuerza al sujeto investigado a una elección positiva o negativa, por cuanto la opción céntrica "indiferente o neutral" queda excluída. La encuesta se presenta en el Cuadro 4.1.

Las proposiciones de la encuesta surgieron de la lectura de materiales y publicaciones relacionados con el tema de la investigación, validadas por docentes e investigadores del área de la Educación en Física. En el cuadro 4.1 se muestra la encuesta entregada a los docentes. (El código en negrita, que se resalta a la derecha de cada proposición, estaba excluido en la encuesta entregada a los docentes. Dicho código referencia la dimensión y modalidad asociada a la proposición, de acuerdo con la tabla 4.2). Las encuestas fueron procesadas agrupándolas en función del nivel de acuerdo obtenido por proposición. Se organizaron cuatro grupos: mayor grado de acuerdo (4), mediano grado (3), menor grado (2), nada (1). Se consideró a la intensidad del acuerdo como la forma más sencilla (mayor grado a ninguno) para que el encuestado conteste. La intensidad de acuerdo muy favorable (4) significa que el docente califica en forma positiva a la proposición y si además todos los docentes coinciden con la escala de puntuación más favorable, se refuerza la intensidad de acuerdo favorable (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2008). No se

aplicaron aquí procedimientos de escalamiento propios para medir actitudes.

**Cuadro 4.1.** Encuesta aplicado a los docentes (el código en negrita referencia la dimensión y modalidad asociadas con la proposición en el posterior procesamiento.)

<p>1) Área de trabajo del docente a cargo          Teoría <input type="checkbox"/> Sólo problemas <input type="checkbox"/> Sólo trabajos prácticos <input type="checkbox"/> Problemas y trabajos prácticos <input type="checkbox"/></p> <p>2) Formación Académica          Graduado <input type="checkbox"/> Título máximo alcanzado:.....          Estudiante <input type="checkbox"/>          Carrera:.....</p> <p>De acuerdo a su experiencia docente establezca su nivel de acuerdo con las siguientes proposiciones como factores que dificultan la resolución de problemas por parte de los alumnos. Califique cada una de ellas de acuerdo con la siguiente escala de puntuación: 1. nada; 2. poco; 3. medianamente; 4. mucho</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Escasa dedicación y/o esfuerzo personal del alumno. <b>P<sub>1</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Escaso tiempo asignado a la asignatura en el plan de estudio <b>M<sub>1</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Conocimiento insuficiente de matemática básica <b>E<sub>1</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Dificultad intrínseca debido al alto nivel de abstracción conceptual de la asignatura <b>E<sub>2</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Desconocimiento de las posibles estrategias de resolución de problemas <b>P<sub>2</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Excesiva complejidad de los problemas propuestos por el docente <b>P<sub>2</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Escasa profundización de los contenidos de las clases teóricas <b>E<sub>2</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Dificultad en la comprensión de los enunciados de los problemas <b>P<sub>2</sub>-L<sub>2</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Escasa preparación del profesor en la enseñanza de la resolución de problema <b>M<sub>2</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Dificultad para identificar los principios y leyes generales que permiten organizar la solución del problema <b>E<sub>2</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Dificultad para reconocer los datos expresados en forma no numérica <b>L<sub>2</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Falta de comprensión de los problemas que resuelve en clase el profesor <b>M<sub>2</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Dificultad para modelizar el problema <b>P<sub>2</sub> - E<sub>2</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Tendencia a utilizar sólo los datos numéricos del problema para hallar las ecuaciones que utilizarán en la resolución <b>L<sub>1</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Escaso tiempo destinado a la comprensión de la situación problemática planteada <b>M<sub>1</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Falta de coordinación entre los contenidos teóricos y las clases de resolución de problemas <b>M<sub>1</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Tendencia a buscar recetas para aplicar en la resolución de problemas <b>P<sub>2</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Falta de desarrollo de situaciones problemáticas en clases <b>M<sub>2</sub></b></li> <li><input type="checkbox"/> Escasa o insuficiente dedicación personal extra-aúlica <b>P<sub>1</sub></b></li> </ul>
---

La encuesta fue distribuida entre siete docentes de la cátedra de Física Eléctrica de la FIQ, Sólo contestaron la misma cuatro de ellos cuyas áreas de trabajo incluyen teoría, resolución de problemas y trabajos prácticos. El grado de compromiso con la función docente, su formación académica (PhD, Licenciado en Física, Licenciado en Química e Ingeniero Químico) y su

---

dedicación a la investigación en Educación en Física posibilitaron la disposición para colaborar con este trabajo, permitiendo obtener información relevante.

Los docentes de la FRSF-UTN se negaron a realizar la encuesta, argumentando que lo consideraban como una evaluación de las actividades de cátedra por parte de la investigadora. El director de departamento puso reparos en el uso que se daría a la encuesta y la tesista desistió en registrar datos con este instrumento, para no poner a los docentes frente a una posición incómoda y comprometida institucionalmente.

*b) Encuestas para los estudiantes:* Las encuestas A, B y C aplicadas a los estudiantes fueron organizadas con una serie de preguntas, cerradas y abiertas, orientadas a comprender el contexto en el cual posicionan la resolución de problemas. Se procuró que cada encuesta tuviera los aspectos esenciales para aislar ciertos problemas que interesaban al objeto de estudio como la motivación para resolver problemas, la disposición para trabajar en grupo, las dificultades que tuvieron, la disposición para aprender, la interacción con el material escrito (enunciado de problemas), la asimilación de conceptos. Las encuestas A (ver cuadro 4.2) y B (ver cuadro 4.3) se aplicaron en clases de resolución de problemas en forma individual y la encuesta C (ver cuadro 4.4) en forma grupal.

La encuesta A consiste en tres enunciados de problemas que los estudiantes deben leer, para luego responder un conjunto de preguntas relativas a la comprensión de los enunciados y a su posible resolución. No se les solicitó la resolución de los problemas.

Para el procesamiento de la cuestión (d) se tuvo en cuenta que los aspectos que se le presenta al estudiante para que seleccione, responden a las dimensiones y modalidades que se consignan al final de cada una.

**Cuadro 4.2.** Encuesta A aplicada en forma individual a los estudiantes.

1- Un protón y un electrón se hallan a 1,00 cm de distancia, considerándose a la primera como una carga fija y la segunda una carga libre, inicialmente en reposo y sin influencia de otras cargas.

- a) Calcular el trabajo que realiza la fuerza de atracción sobre el electrón, cuando éste se desplaza desde la posición inicial hasta 0,80 cm del protón y desde esta última posición hasta 0,60 cm de distancia. Compara valores y analizar.
- b) Calcular la velocidad del electrón a 0,80 cm y a 0,60 cm del protón en base a relaciones de energía despreciando toda pérdida que pudiera ocurrir.

2- Dadas las cargas puntuales  $q_1$  y  $q_2$  hallar:

- a) La expresión del campo eléctrico a lo largo del eje x para los distintos tramos
- b) Una gráfica aproximada de  $E = f(x)$
- c) El (o los) punto (s) donde se anula el campo.

3- Un anillo delgado de radio R tiene una carga total Q uniformemente distribuida

- a) Hallar la expresión del campo eléctrico en un punto del anillo, a una distancia x de su centro. Comprobar la validez de la fórmula para  $x=0$  y para  $x \gg R$ .
- b) Calcular el valor del campo para  $R=10$  cm,  $Q=2 \mu\text{C}$  y  $x=20$  cm
- c) Calcular la fuerza eléctrica que actuaría sobre un electrón en la posición anterior.
- d) Demuestre que para grandes distancias el sistema se comporta como una sola carga puntual.

Lee los problemas y, a continuación, responde a las siguientes cuestiones

- a- 1 Califica el problema con el grado de dificultad (1= muy fácil, 2= fácil, 3= difícil, 4= muy difícil)
- b- Expresa en que radica a tu criterio la mayor dificultad en la resolución
- c- ¿Está correctamente redactado el enunciado? Si no fuera así, ¿qué frases o palabras cambiarías?
- d- Indica en orden de prioridades, cuáles de los siguientes aspectos consideras que influyen en el éxito para resolver problemas.
  - Dificultades en la comprensión del contenido teórico correspondiente al tema campo eléctrico (**E<sub>2</sub>**)
  - Dificultad para recordar ecuaciones a aplicar a la resolución. (**P<sub>1</sub>**)
  - Escaso tiempo asignado a la resolución de problemas en clase. (**M<sub>1</sub>**)
  - Dificultades asociadas con las herramientas matemáticas a aplicar. (**L<sub>1</sub>**)
  - Insuficiente tiempo personal destinado al estudio de la asignatura. (**P<sub>1</sub>**)
  - Dificultades asociadas a las estrategias a utilizar para resolver problemas en física y en matemática. (**P<sub>2</sub>**)
- e- Comentarios y sugerencias

---

La encuesta B está orientada a recoger la valoración de los estudiantes sobre la gestión de las clases y las actividades desarrolladas en Física Eléctrica. Algunas cuestiones también recogen información sobre perspectivas de los alumnos sobre la construcción de los conocimientos. En la misma los estudiantes deben señalar su grado de acuerdo, en una escala tipo Likert de 3 valores, sobre una serie de proposiciones elaboradas de manera que brinden elementos sobre las 4 dimensiones de análisis indicadas en la Tabla 4.2. Las proposiciones Muy de acuerdo se consideraron como una afirmación muy favorable.

En la Tabla 5.6 del Capítulo 5 se muestran las mismas. Las respuestas se procesaron por estudio de las frecuencias absolutas, determinadas como el número de veces que se repite dicha proposición y un análisis de las tendencias detectadas.

La Encuesta C, respondida en forma grupal, se muestra en cuadro 4.4. Tuvo el propósito de captar las posiciones del alumno cuando la tarea era realizada en forma colaborativa con sus pares, dado que, en las actividades de resolución de problemas los alumnos se reunían en grupos y resolvían los problemas que el docente a cargo indicaba. La encuesta fue contestada por cinco grupos de alumnos constituidos por tres estudiantes cada uno. Su procesamiento se efectuó mediante un cómputo simple de frecuencias y análisis de las predominancias. Cabe aclarar que esta encuesta sólo pudo ser aplicada al grupo de la Facultad de Ingeniería Química (UNL). En la Facultad Regional Santa Fe (UTN) no se logró administrar porque coincidió con una mesa de examen extraordinaria.

**Cuadro 4.3.** Encuesta B: valoración de las actividades desarrolladas en Física Eléctrica

<b>Encuesta B: individual para el alumno</b>		<b>MA</b>	<b>A</b>	<b>NA</b>
Realiza una valoración de las actividades desarrolladas en la asignatura Física Eléctrica. Indica poniendo una cruz en que grado estás de acuerdo o en desacuerdo con estas ideas referidas a la asignatura Física Eléctrica <b>MA</b> : Muy de acuerdo <b>A</b> : De acuerdo <b>NA</b> : Nada de acuerdo				
1-	He aprendido a través de mi propia experiencia y no sólo de las explicaciones de los docentes o los libros.			
2-	He podido participar aportando mis propias ideas.			
3-	He llegado a la conclusión de que los conocimientos científicos son provisionales y pueden cambiar a lo largo del tiempo.			
4-	He aprendido a buscar información y a utilizarla para resolver problemas.			
5-	He incorporado conocimiento que dudo utilizar.			
6-	Las evaluaciones parciales o finales integraron temas vistos anteriormente.			
7-	Ha aumentado mi interés por la asignatura a medida que avanzó el curso de Física II.			
8-	El aprendizaje se ha centrado en la memorización de información.			
9-	La presentación y organización de las actividades es la más adecuada.	Teoría		
		Laboratorio		
		Problemas		
10-	Pienso que los docentes dominan la materia que enseñan.			
11-	Pienso que los docentes aclaran las dudas que surgen en clases y en consulta.			
12-	Ha sido adecuada la relación docente-alumno en las actividades desarrolladas.			
13-	Me ha facilitado las relaciones con compañeros de clase.			
14-	He aprendido a valorar las aportaciones de los demás.			
15-	Esta forma de aprender me ayuda a retener mejor los conceptos			

**Cuadro 4.4.** Encuesta C aplicada en forma grupal durante una clase de resolución de problemas

*En forma anónima y con el equipo de trabajo, contesta estas preguntas referidas al trabajo que realizaste. Muchas gracias por tu colaboración. En cada caso indicar con una X la/las opción/es que correspondan. Hacer todas las aclaraciones que consideren convenientes.*

1. Cómo acotaron el problema?

<b>Definimos nuestro problema</b>	SI	En alguna medida	NO
Antes de leer sobre el tema			
Después de leer sobre el tema			
Según nuestros intereses			
Según lo indicaba el docente guía			
Con facilidad			
Discutiendo entre nosotros			
Otras			

2. Estrategias de resolución

<b>Resolvimos el problema</b>	SI	En alguna medida	NO
Haciendo un plan de trabajo			
Estudiando sobre los contenidos específicos			
Por prueba y error			
Usando conocimientos previos de física			
Usando conocimientos previos de otras disciplinas			
Buscando información			
Planteando hipótesis			
Seleccionando algunas variables a tener en cuenta			
Con esfuerzo			
Con facilidad			
Otras			

3. Resultados

<b>Resultados que obtuvimos</b>	SI	En alguna medida	NO
Los confrontamos con las hipótesis hechas			
Nos permitieron formular conclusiones			
Son importantes para nosotros			
Son importantes para otros			
Son definitivos			
Pueden mejorarse y/o completarse			
Otras			

4. Dificultades

<b>Las mayores dificultades estuvieron en</b>	SI	En alguna medida	NO
La falta de información			
La falta de ayuda y/o guía del docente			
La falta de organización del grupo			
La falta de organización de la cátedra			
La falta de interés en el trabajo			
La falta de tiempo			
La falta de materiales			
La falta de bibliografía			
La falta de conocimientos previos			
La falta de entrenamiento en este tipo de actividades			
Otras			

– **Análisis de documentos escritos:** Los estudiantes deben presentar, una vez realizada las experiencias solicitadas en la guía de trabajos prácticos, un informe escrito analizando y justificando cada una de las experiencias realizadas en la clase. Este informe es evaluado luego por el docente auxiliar, por este motivo se realizó el análisis de los informes escritos de los estudiantes y sus evaluaciones, contrastando las actividades realizadas por los alumnos y las consignas que se brindaron en la clase y en las guías suministradas por la cátedra (Anexo I). También se estudiaron los criterios sustentados por los docentes al evaluar los mismos. En el estudio de los documentos escritos se aplicaron las dimensiones y modalidades descritas en la tabla 4.2.

– **Entrevistas no estructuradas:** Se realizaron entrevistas individuales a docentes de Física Eléctrica que accedieron a ella, profundizando aspectos relevados en la encuesta aplicada a docentes de la FIQ-UNL. Se apeló a un diálogo intencionado a los efectos de conocer la opinión, percepción e interpretación los contenidos y procedimientos en las clases de la asignatura. El objeto prioritario fue captar las representaciones e impresiones subjetivas, buscando los puntos críticos.

Las entrevistas fueron no estructuradas ya que las preguntas no estuvieron previamente determinadas. Se realizaron a dos docentes de Física Eléctrica de la FIQ-UNL: uno a cargo de resolución de problemas y otro a cargo de trabajo de laboratorio. Estos sujetos voluntariamente brindaron su colaboración, no forzándose su participación en ningún momento. También se realizaron a dos docentes del ciclo superior perteneciente a la cátedra de Proyectos. En forma comparativa, estas entrevistas se centraron en aspectos curriculares: conocimientos básicos esenciales para el desarrollo de los contenidos del ciclo superior, manifestando un conjunto de requisitos que consideran indispensables para acceder al Ciclo Superior.

---

Las entrevistas fueron registradas en el cuaderno de campo y sus transcripciones fueron posteriormente analizadas adoptando las dimensiones y modalidades, correspondiente a la tabla 4.2.

#### **4.4.2. FASE II: ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE LOS ESTUDIANTES EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE CAMPO ELÉCTRICO**

En esta fase se focalizó el estudio en las situaciones de evaluación, estudiando el desempeño de los estudiantes en la resolución de problemas de campo eléctrico en las instancias de examen parcial y final<sup>4</sup>, ya que son las que se sustentan institucionalmente para la acreditación de la asignatura. Es decir, la resolución de problema constituye un proceso significativo para el docente a fin de establecer la existencia de aprendizaje.

Se considera que el estudiante:

- asume estas instancias como más integrales;
- se prepara estudiando con mayor profundidad;
- el perfil conceptual (Mortimer, 1995) que expresa en la resolución es el que tiene más integrado.

En esta decisión gravitó mucho el criterio de la tradición en la promoción de la asignatura Física Eléctrica en las dos instituciones a través de exámenes escritos. La resolución de problemas es considerada por los docentes de la asignatura como una estrategia fundamental en la etapa de evaluación. Paradójicamente es uno de los obstáculos más frecuente con que se encuentran los alumnos durante su proceso de aprendizaje durante el cursado.

La investigación se organizó sobre la base de los resultados de la primera fase que permitieron definir con mayor precisión los alcances de la

---

<sup>4</sup> La asignatura puede promoverse por exámenes parciales, que son tres a lo largo del dictado de la misma, o bien presentándose en las mesas de exámenes finales para una evaluación de todos los contenidos de la asignatura.

problemática y organizar el modelo de análisis a seguir, de acuerdo con las hipótesis preliminares.

El conjunto de hipótesis que sustentaron el trabajo en esta fase estuvo en estrecha relación con las preguntas de la investigación, ya que se expresaban como respuestas tentativas a la misma. Ellas emergieron a partir del procesamiento de la información recogida en la primera fase.

Las preguntas que se intentan responder en esta fase de la investigación son:

¿Cuál es la incidencia de los datos en los enunciados de problemas de campo eléctrico sobre el perfil epistemológico asumido por los alumnos cuando los resuelven?

Dentro de la cual se pretende aclarar:

- las dificultades de tipo epistemológico que los estudiantes ponen en evidencia al resolver tales problemas;
- las relaciones entre dichas dificultades y la capacidad de resolución;
- los modos en que el tipo de enunciado condiciona la construcción del significado atribuido al concepto de campo eléctrico.

Las hipótesis de trabajo que sustentaron esta parte del análisis son:

**H<sub>T1</sub>**: El perfil epistemológico depende del modo en que se presentan los datos en el enunciado de los problemas.

**H<sub>T2</sub>**: La forma en que se presenta el dato condiciona el tipo de resolución.

¿Qué dificultades conceptuales de los estudiantes interfieren durante la resolución de problemas indicando obstáculos en el aprendizaje significativo del concepto de campo eléctrico?

Se pretende acercar respuestas *relacionadas con*:

- las dificultades que obstaculizan la integración físico-matemática del significado de campo eléctrico;

- 
- las formas de representación del campo eléctrico que median entre las referencias del enunciado y las estrategias de resolución.

Se asumió la siguiente hipótesis de trabajo:

**H<sub>T3</sub>**: El concepto de campo sólo es una construcción matemática.

*La investigación fue estructurada con un diseño cuantitativo - correlacional consistente en muestreos sucesivos con grupos de estudiantes distintos (León y Montero, 1997) pero de una misma cohorte de cursada de la asignatura Física Eléctrica de la FIQ-UNL y de la FRSF-UTN,*

**Muestra:** *Constituida por las resoluciones de problemas de examen de 100 alumnos -50 de la FIQ-UNL y 50 de la FRSF-UTN- que rindieron examen de Física Eléctrica en el período académico 2007, que abarca hasta los exámenes finales de febrero-marzo de 2008.*

**Instrumento:** Tuvo este carácter cada uno de los enunciados elaborados por los docentes de cada cátedra, en un total de 10 correspondientes a los exámenes parciales y finales correspondientes al período académico antes mencionado (Ver ANEXO II). Es importante destacar que la tesista no tuvo decisión sobre la organización del instrumento en que se basaba la evaluación ya que ella no participaba de su redacción en esta etapa. Desde esta perspectiva, el diseño es no experimental.

A fin de profundizar en los criterios y el enfoque que orientó la construcción del instrumento por los docentes, la tesista analizó los enunciados de cada problema, como producto del docente para plantear la problemática y establecer un instrumento de evaluación, considerando: el perfil conceptual requerido (Mortimer, 1995), las situaciones (configuraciones de cargas) que se requiere al estudiante que analice, condiciones formuladas, el modelo conceptual subyacente y la forma en que se presentan los datos (literal, numérico, simbólico, gráfico, pictórico).

A modo de ejemplo se muestra el análisis de uno de los enunciados

seleccionados indicando, con el sombreado, fragmentos de los enunciados que se asocian con algunas de las modalidades definidas.

**Perfil conceptual**
**Organización de la información**

Explice y explicite la ley de Gauss para
distribuciones discretas y continuas de cargas

**Comprensión: Formulación de condiciones**
**Modelo conceptual subyacente**

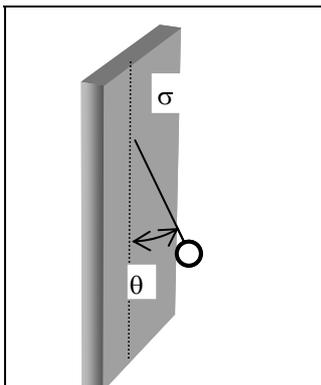
Una placa conductora muy grande con una
densidad de carga  $\sigma = 2.10^{-7} \text{ C/m}^2$

**Perfil conceptual**
**Modelo conceptual subyacente**

genera un campo **E**. Si colocamos una
carga pequeña ( $q$ ) de  $3.10^{-9} \text{ C}$  cuya masa es

**Organización de la información**

5 g que cuelga de un hilo de 20cm de largo según
muestra la figura



- 1- Realizar un diagrama de cuerpo libre de la carga explicando que le sucede si el hilo que la sostiene se corta
- 2- Determinar el valor y magnitud del campo eléctrico en la posición donde se halla la carga, en el interior de la placa y sobre la placa
- 3- Calcular la diferencia de potencial entre la carga y la placa.

---

La información emergente del análisis de los problemas de examen fue organizada en una tabla de datos que sirvió de referencia para el análisis de las resoluciones realizadas por los estudiantes de cada problema.

Este análisis permitió establecer que los enunciados de problemas de examen seleccionados son equivalentes en cuanto a sus atributos esenciales:

- los datos para su resolución están siempre presentes,
- la representación es gráfica o literal,
- carecen de contexto problemático tecnológico.

**Recolección de los datos:** Las resoluciones de los problemas efectuadas por los estudiantes fueron utilizadas como los protocolos de análisis. Se procedió a analizar la forma en que cada estudiante aborda individualmente la resolución, las representaciones gráficas que organiza, los procedimientos que ejecuta durante la resolución, los posibles sesgos introducidos y la interpretación de resultados realizada.

En el análisis se tuvieron en cuenta tres ejes: el **enunciado** (como objeto de comprensión para el estudiante); la **resolución** (como contexto en que el estudiante manifiesta su conocimiento sobre el concepto de campo eléctrico y su articulación en las estrategias utilizadas; y el **análisis del resultado** (como contexto global de interpretación y fundamentación por parte del estudiante).

En la tabla 4.3 se presenta un detalle de las Identificación de categorías y modalidades en los enunciados de problemas de examen. Esta fase tuvo como tarea específica traducir el lenguaje de los enunciados a categorías y modalidades.

Para el análisis de la resolución de los problemas, se utilizaron las dimensiones, categorías y modalidades que se muestran en Tabla 4.4.

**Tabla 4.3.** Identificación de categorías y modalidades en los enunciados de problemas de examen

Categoría	Modalidad
<i>Perfil conceptual:</i> permite identificar características del enfoque adoptado	<p><i>Coulombiano:</i> Base ontológica en la concepción newtoniana</p> <p><i>Maxwelliano:</i> Fundamentos ontológicos en la concepción kantiana</p> <p><i>Mixto:</i> características de ambas concepciones</p>
<i>Información presentada:</i> atiende a los datos en el enunciado	<p><i>General:</i> tienen en cuenta todos los datos que aparecen en el enunciado</p> <p><i>Relevante:</i> sólo tienen en cuenta lo que considera importante para la resolución del problema</p> <p><i>Visual:</i> sólo representa lo gráfico del enunciado con algunos elementos textuales.</p>
<i>Organización de la información:</i> atiende a la manera en que está presente en el enunciado	<p><i>Pictórica:</i> aplicación de la información en forma gráfica, es una representación centrada en la imagen.</p> <p><i>Simbólica:</i> presentación de la información caracterizada por un atributo o identidad estructural.</p> <p><i>Pictórica-simbólica:</i> aplicación de la información caracterizada por operadores semánticos e identidad estructural</p>
<i>Modelo subyacente:</i> asociado a los conceptos que subyacen a los significados del contenido	<p><i>Complejidad:</i> criterio de comprensión del enunciado en forma integral</p> <p><i>Aplicabilidad:</i> criterio de comprensión del enunciado y de accesibilidad proporcionado por los datos</p> <p><i>Representatividad:</i> criterio de comprensión del enunciado en forma fundada</p>
<i>Comprensión:</i> atiende a los procedimientos solicitados para la resolución	<p><i>Formulación condiciones/hipótesis:</i> especificación de conjeturas para la comprensión del enunciado.</p> <p><i>Explicitación de los datos:</i> provee significancia a los datos del problema.</p> <p><i>Relación de los datos con hipótesis:</i> existe correspondencia entre datos e hipótesis</p>

**Tabla 4.4.** Dimensiones, categorías y modalidades utilizadas en el análisis de las resoluciones de problemas de examen realizados por los estudiantes

Dimensión	Categoría	Modalidades
Epistemológica	Perfil conceptual	<p><i>Coulombiano</i>: Base ontológica en la concepción newtoniana</p> <p><i>Maxwelliano</i>: Fundamentos ontológicos en la concepción kantiana</p> <p><i>Mixto</i>: características de ambas concepciones</p>
	Incidencia de los datos	<p><i>Conocimiento físico</i>: conceptos físicos que aparecen explícitamente en el planteo de las situaciones problemáticas y/o en las consignas.</p> <p><i>Estructura conceptual</i>: adquirida por el alumno y puesta de manifiesto en la resolución.</p>
Lingüística	Información seleccionada	<p><i>Visual</i>: el lenguaje está caracterizado por ser descriptivo,</p> <p><i>Relevante</i>: el lenguaje está caracterizado por establecer relaciones precisas entre conceptos y magnitudes,</p> <p><i>General</i>: el lenguaje está caracterizado por referirse a un modelo o teoría física-matemática</p>
	Organización de la información	<p><i>Pictórica</i>: aplicación de la información en forma gráfica, es una representación centrada en la imagen.</p> <p><i>Simbólica</i>: presentación de la información I caracterizada por una atributo o identidad estructural.</p> <p><i>Pictórica-simbólica</i>: aplicación de la información caracterizada por operadores semánticos e identidad estructural</p>
Psicológica	Simbolización	<p><i>Formal</i>: respuestas que utilizan sólo fórmulas, revelan una tentativa de identificar el problema con una ley física, lleva implícito un modelo relacional.</p> <p><i>Articulada</i>: articulan conceptos físicos con las variables del problema, atiende a un modelo temporal</p> <p><i>Puntual</i>: respuestas que tratan resultados obtenidos para una situación específica como si fueran resultados generales, alude a un modelo espacial.</p> <p><i>Errónea</i>: respuestas que parten de conceptos y relaciones que no tienen validez en la situación planteada</p>

Lingüística	Resolución	<p><i>Analítica:</i> preponderancia en el proceso de resolución.</p> <p><i>Numérica:</i> preponderancia del cálculo en el proceso de resolución</p> <p><i>Mixta:</i> no existe preponderancia de lo analítico sobre lo numérico y viceversa.</p>
Metodológica	Procedimiento	<p><i>Operatorio:</i> presentación de los resultados donde predomina el cálculo.</p> <p><i>Proposicional:</i> la presentación de los resultados aparece con un análisis de los resultados numéricos. y una estructura deductiva</p> <p><i>Declarativo:</i> la presentación de los resultados es manifiestamente enunciativo.</p>
Epistemológica	Identificación	<p><i>Interacción E-F:</i> diferenciación entre fuerza y campo.</p> <p><i>Caracterización vectorial de E:</i> característica vectorial del campo.</p> <p><i>Otras interacciones:</i> identificación de interacciones no eléctricas, caracterización Sistema-Medioambiente.</p>
Metodológica	Vinculación de contenidos	<p><i>Operacional:</i> alude a un modelo relacional donde existen relaciones entre conceptos operacionales que representan propiedades físicas</p> <p><i>Conceptual:</i> sugiere un modelo cinemático con reconocimiento de atributos esenciales entre conceptos construidos por la percepción.</p> <p><i>Mixto:</i> Indica un modelo dinámico que tiene características operacionales y conceptuales entre los eventos representados</p>

**Procesamiento de los datos:** La tabla de datos, constituida por 100 filas - cada uno de los 10 problemas analizados, resueltos por grupos de 10 alumnos- y cada columna correspondiente a una de las categorías establecidas en la tabla 4.4 fue procesada siguiendo un enfoque estadístico descriptivo. Se recurrió al paquete estadístico SPSS 10.0 que está orientado -en principio- al ámbito de las Ciencias Sociales. Se seleccionaron aleatoriamente subpoblaciones de 10 resoluciones de problemas de examen correspondiente a 10 estudiantes por examen (parcial/final), en total se analizaron 50 resoluciones de problemas de examen de la FIQ y 50 de la

---

FRSF (los estudiantes cursaron en el período académico 2007 que incluye, como se ha indicado anteriormente, los exámenes de febrero-marzo de 2008).

En el procesamiento de los datos se trabajó con medidas de correlación no paramétricas, con cálculo del coeficiente de contingencia y pruebas estadísticas que determinan la probabilidad asociada con la ocurrencia de la correlación, conforme a una hipótesis nula que supone que las variables no están relacionadas en la población. De manera que además de presentar medidas de asociación, se recurrió a las pruebas estadísticas que determinan la significatividad estadística de la asociación observada.

El Coeficiente de Contingencia (CC) es una medida del grado de asociación o relación entre dos conjuntos de atributos. Es singularmente útil en este caso que se tiene información clasificatoria (escala nominal) acerca de un conjunto de atributos; siendo los mismos una serie no ordenada de frecuencias. Esto puede usarse cuando la información acerca de los atributos consiste en una serie de frecuencias (Siegel, 1983).

Para usar el CC no es necesaria la existencia de una base continua de las diferentes categorías usadas para medir el conjunto de atributos, ni siquiera se necesita ordenar las categorías de un modo particular en las hileras y columnas. El CC no hace suposiciones acerca de la forma de la población de puntajes, no necesita una continuidad básica de las variables en análisis y requiere solamente medición nominal de las variables. Debido a estas suposiciones y requisitos se usó CC para indicar el grado de relación entre categorías.

Las medidas de correlación no paramétricas entre variables y las pruebas estadísticas que determinan la probabilidad asociada con la ocurrencia de una correlación tan grande como la observada en la muestra, conforme a una hipótesis de nulidad<sup>5</sup>, son altamente significativas en esta etapa del

---

<sup>5</sup> La hipótesis de nulidad supone que las variables no están relacionadas en la población.

estudio. Es de interés indicar el grado de asociación entre dos conjuntos de modalidades identificadas en un grupo dado de sujetos de la muestra. El CC por sí mismo representa este grado de asociación. Pero es quizás de mayor interés afirmar si alguna asociación observada en una muestra (100 alumnos, que rindieron examen de Física Eléctrica en el período académico 2007) indica que las variables en estudio están asociadas muy probablemente en la población (alumno que se presentan a examen de Física Eléctrica que se tomó en la muestra). Las pruebas de significación determinan, en un nivel de probabilidad declarado, si la asociación verdaderamente existe en la población de la que se tomó la muestra para calcular el CC (Siegel, op.cit.).

Finalmente, se procedió a la discusión e interpretación de los resultados a la luz de las previsiones realizadas mediante las hipótesis sustantivas identificadas.

En el capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos en esta etapa de la investigación y se realiza el análisis e interpretación de los mismos desde la perspectiva de la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel-Novak y de la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird. En este estudio preliminar se extraen los aspectos relevantes que permitieron organizar la propuesta didáctica que luego sería implementada en una de las instituciones universitarias.

## **CAPÍTULO 5**

### **RESULTADOS DE LA ETAPA I:**

#### **ESTUDIO PRELIMINAR DEL CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS**

##### **5.1. INTRODUCCIÓN**

Este capítulo contiene los resultados emergentes del procesamiento de la información recogida durante la primera etapa de la investigación, que se centró sobre las situaciones de enseñanza que se producen en el aula cuando se enseñan a resolver problemas de campo eléctrico (fase I) y sobre la comprensión de este concepto evidenciada por los estudiantes al resolver este tipo de problemas en los exámenes (fase II).

Se presentan, analizan y discuten los resultados obtenidos con la metodología detallada en el capítulo 4. La organización del capítulo se realiza en dos partes: en la primera se presentan los resultados obtenidos en la FASE I (Investigación Preliminar) y en la segunda, los correspondientes a la FASE II (Estudio del desempeño de los estudiantes en la resolución de problemas de campo eléctrico).

## 5.2. FASE I: INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

### 5.2.1. LAS CLASES DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS OBSERVADAS

Como se señalara en el capítulo 4, se observaron 3 clases de resolución de problemas, en las mismas se presentan al inicio los conceptos que se desarrollaron en las clases teóricas, en dos cursos de Física Eléctrica: uno de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) – UNL y el otro de la Facultad Regional Santa Fe (FRSF) - UTN durante el año académico 2007. Las clases observadas responden a un formato que se reitera, con algunas ligeras variantes que obedecen a cuestiones emergentes ya que el docente a cargo de la resolución de problemas en las dos instituciones es el mismo, de modo que le imprime la misma dinámica. Los materiales (guías de problemas y de trabajos prácticos) que utiliza son semejantes, con escasas variaciones, de modo que ésta resulta una variable menos a considerar en la investigación. Además cuenta con un ayudante en cada una de las instituciones como colaborador. A continuación se describe el contexto de las observaciones:

**FIQ – UNL:** Las observaciones se efectuaron durante el desarrollo del tema correspondiente a *campo eléctrico* en las clases de resolución de problemas y de trabajos de laboratorio. Las primeras se desarrollaron en el aula que pertenece al departamento y cuenta con bancos de madera y dos pizarrones, mientras que las segundas, en el laboratorio de Física Eléctrica que cuenta con cuatro mesas, provistas de tomas de electricidad y agua que cumplen las normas de seguridad, orientadas hacia el frente donde está el pizarrón, armarios metálicos donde se guardan el instrumental de la Física Mecánica y Eléctrica y un pequeño cuarto donde se ubican los elementos a usar en óptica.

El laboratorio dispone además de una pequeña pileta para el vertido de líquidos y limpieza de utensilios, materiales de vidrio utilizados en las prácticas de laboratorio. Cuenta con toma-corrientes para conectar microscopios y lupas binoculares, osciloscopios, fuentes de tensión y de corriente, generadores de ondas, etc. Hay numerosos armarios que

---

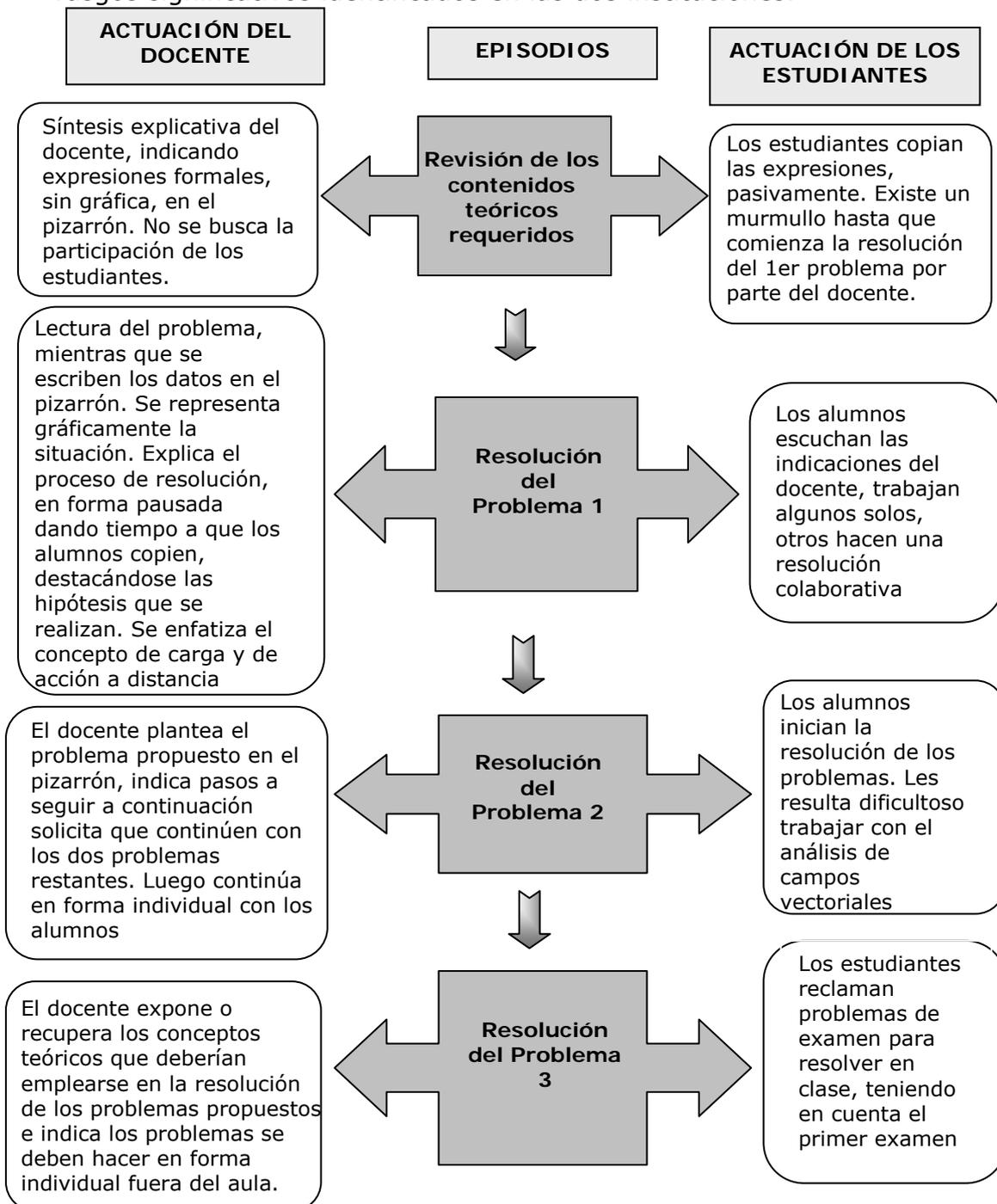
contienen resistencias, capacitores, milivoltímetros, galvanómetros, transformadores, autotransformadores y material de vidrio. También cuenta con un aula de informática con 6 ordenadores.

**FRSF-UTN:** Las observaciones se efectuaron durante el desarrollo de *campo eléctrico* en las clases teórico-prácticas. De acuerdo a la estructura de cátedra de la FRSF el docente de la teoría da también las clases de resolución de problemas y el ayudante de cátedra los trabajos de laboratorio.

Las primeras se desarrollaron en el aula asignada a Física Eléctrica que cuenta con bancos individuales, dos pizarrones y retroproyector, y los trabajos prácticos en el laboratorio perteneciente a la Unidad Docente Física que cuenta con cuatro mesas, provistas de tomas de electricidad, cumpliendo con las normas de seguridad requeridas, orientadas hacia el frente donde está el pizarrón y los armarios de madera vidriados donde se guardan el instrumental utilizado en el laboratorio. El laboratorio dispone además de una pileta para el vertido de líquidos y limpieza de utensilios. Hay numerosos armarios que contienen elementos e instrumentos muy antiguos mezclados con resistencias, capacitores, milivoltímetros, galvanómetros, transformadores, autotransformadores y material de vidrio. El Dpto. de Ciencias Básicas cuenta con un aula, equipada con 15 ordenadores, que es utilizada por el docente de Física Eléctrica para la realización de los trabajos de laboratorio utilizando software de simulación.

En la figura 5.1 se muestra el formato general identificado en las clases observadas, indicando los episodios en que puede ser dividida cada una de ellas en función del eje de la actividad desarrollada, con el tipo de intervención del docente y de los estudiantes en cada uno de ellos. Se complementa en la tabla 5.1 y 5.2 con un detalle del contenido, la cantidad de problemas resueltos en cada clase, las actividades centrales desarrolladas por el docente y los alumnos. También se consignan los

rasgos significativos identificados en las dos instituciones.



**Figura 5.1.** Formato general de las clases de resolución de problemas indicando las características de las intervenciones que acompañan los episodios observados.

**Tabla 5.1.** Síntesis de las actividades observadas en las 3 clases de resolución de problemas sobre *campo eléctrico* en la FIQ-UNL.

CLASE	TEMA Electrostática	Cantidad de problemas	Docente a cargo	Alumnos presentes	Rasgos significativos de la clase
1	Ley de Coulomb Campo Eléctrico	3	1 Profesor 1 Auxiliar	15	La clase se hace muy laboriosa para los alumnos fundamentalmente presentan dificultades en el planteo vectorial
2	Ley de Gauss Potencial.	3	1 Profesor 1 Auxiliar	13	Los alumnos no terminan de entender cómo trabajar con superficies gaussianas de distinta geometría. Otra dificultad presente en los alumnos es considerar la función potencial con carácter vectorial.
3	Leyes de Poisson y Laplace Capacitores. Energía. Fuerza entre conductores	3	1 Profesor 1 Auxiliar	11	La clase se presenta ordenada los alumnos preguntan y plantean sus dudas en la resolución matemática ya que algunos desconocen el concepto de laplaciano. A pedido de los alumnos se discuten problemas de exámenes anteriores. La proximidad de la evaluación parcial los obsesiona y genera ansiedad.

La tercera clase observada (Tabla 5.2) coincidió con los denominados turnos de examen especiales en ambas Facultades (FIQ y FRSF) y con la proximidad de la evaluación parcial correspondiente a Electrostática. Algunos alumnos faltaron a la clase y los estudiantes que se hicieron

presentes le solicitaron al docente consulta. De modo que los problemas propuestos para esta tercera clase no fueron desarrollados según el cronograma original.

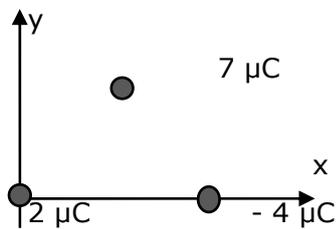
**Tabla 5.2.** Síntesis de las actividades observadas en las 3 clases de resolución de problemas sobre *campo eléctrico* en la FRSF-UTN.

CLASE	TEMA Electrostática	Cantidad de problemas	Docent e a cargo	Alumnos presentes	Rasgos significativos de la clase
1	Ley de Coulomb Campo Eléctrico	3	1 Profesor 1 Auxiliar	45	La clase se hace muy esforzada para el docente por la cantidad de alumnos. El docente resuelve los problemas en el pizarrón, al finalizar algunos se acercan a plantear sus dudas y dificultades en el planteo vectorial
2	Ley de Gauss Potencial.	3	1 Profesor 1 Auxiliar	43	La clase se torna caótica, es muy numerosa. Se les complica a los estudiantes el planteo del Teorema de Gauss.
3	Capacitores. Energía. Fuerza entre conductores	3	1 Profesor 1 Auxiliar	40	Condensadores es un tema más tecnológico, los estudiantes están más motivados y realizan preguntas de aplicación y de usos en circuitos. Los alumnos reclaman problemas de examen por la proximidad de la evaluación parcial.

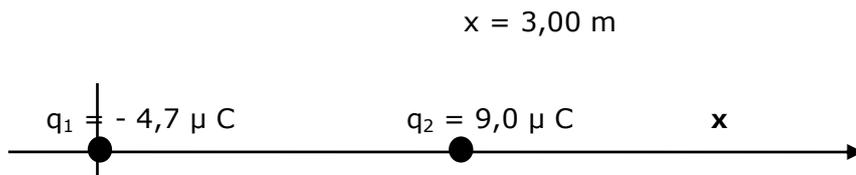
En la figura 5.2 se presentan los problemas trabajados en la primera clase

en ambos cursos. Se efectúa un posterior análisis desde el punto de vista de su estructura, lenguaje, contenido conceptual, procedimientos requeridos para su resolución según fuera presentado en el apartado 4.3.1. En la tabla 5.3 se establece el detalle de su caracterización.

- 1) Tres cargas puntuales se colocan en las esquinas de un triángulo equilátero de 0,5 m de lado, según se indica en la figura.
- a) Calcule la fuerza eléctrica neta que actúa sobre la carga de  $7 \mu\text{C}$ . (Problema Nro. 7 -Serway- Pag 665).
- b) Si las únicas fuerzas en el sistema fueran sus interacciones mutuas, determine si el sistema puede estar en equilibrio.



- 2) Dadas las cargas puntuales  $q_1$  y  $q_2$ , hallar:
- a) La expresión del campo eléctrico a lo largo del eje x para los distintos tramos.
- b) Una gráfica aproximada de  $E = f(x)$ .
- c) El (o los) punto(s) donde se anula el campo.
- d) Demuestre que para grandes distancias el sistema se comporta como una sola carga puntual.



- 3) Calcular el campo eléctrico en el punto P, debido a la presencia de un hilo recto delgado de 50 cm de longitud, no conductor, con una densidad lineal homogénea de carga  $\lambda = 10^{-9} \text{ C/m}$ .

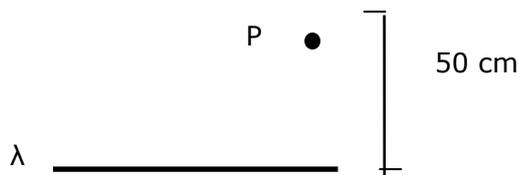


Figura 5.2. Problemas trabajados en la 1ª clase observada en ambos cursos

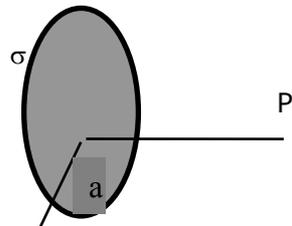
**Tabla 5.3.** Análisis de los problemas trabajados en la 1ra clase observada, considerando su estructura, lenguaje, contenido conceptual y procedimiento requeridos para su resolución

	<b>Problema 1</b>	<b>Problema 2</b>	<b>Problema 3</b>
<b>Estructura</b>	<p>Cerrado, con un dibujo como soporte para la comprensión del texto y un sistema de coordenadas que se sugiere para orientar la resolución.</p> <p>El formato es del tipo: enunciado con datos y preguntas separados.</p> <p>Carece de un contexto problemático vinculado con la ingeniería.</p> <p>Contiene sólo información relevante.</p>	<p>Cerrado, con un modelado explícito.</p> <p>El formato es de texto único, con preguntas y datos textuales integrados.</p> <p>Presenta un esquema que contiene la información requerida para resolver el problema.</p> <p>Carece de un contexto problemático vinculado con la ingeniería.</p> <p>Contiene sólo información relevante</p>	<p>Cerrado, con un modelado explícito.</p> <p>El formato es de consigna única, con inclusión de datos textuales y numéricos integrados.</p> <p>Presenta un esquema que actúa como soporte de comprensión con algunos datos numéricos. No se indica un sistema de referencia.</p> <p>Carece de un contexto problemático vinculado con la ingeniería.</p> <p>Contiene sólo información relevante</p>
<b>Lenguaje</b>	<p>Textual, numérico y gráfico, con carga abstracta.</p> <p>Se hace mención implícita a la simetría del problema.</p>	<p>Textual, numérico y gráfico, con carga abstracta.</p>	<p>Textual, numérico y gráfico, con carga abstracta.</p> <p>La gráfica muestra la ausencia de simetría en la distribución dada.</p>
<b>Contenido conceptual requerido</b>	<p>Disciplinar, sin sugerir un perfil conceptual explícito (coulombiano o maxwelliano).</p> <p>Requiere nociones básicas de geometría plana: triángulo equilátero, simetría, ubicación espacial por coordenadas cartesianas.</p>	<p>Disciplinar, estableciendo explícitamente el perfil.</p> <p>Análisis de comportamientos y posibles modelizaciones sustitutivas (<i>¿a grandes distancias el sistema se comporta como una sola carga puntual</i>)</p>	<p>Disciplinar, estableciendo explícitamente el perfil.</p> <p>Requiere el procesamiento de términos que indican la distribución de cargas (<i>no conductor</i>), incluyendo información redundante (<i>...hilo recto delgado... con una densidad lineal...</i>)</p>
<b>Procedimientos requeridos</b>	<p>Identificación de la organización geométrica de la distribución de cargas, ya que el mencionado <i>triángulo equilátero</i> en el enunciado, es insinuado sólo en el gráfico</p> <p>Selección de la estrategia de resolución una vez establecido el perfil: cálculo de la fuerza por la Ley de Coulomb o por concepto de campo.</p> <p>Posibilidad de operar por procedimientos de simetría.</p> <p>Procesamiento de una inferencia, para dar sentido a la pregunta (b).</p>	<p>Procesamiento de información gráfica.</p> <p>Requiere la interpretación del carácter vectorial de la demanda (<i>...donde se anula el campo</i>) o del carácter funcional (<math>E=f(x)</math>).</p> <p>Involucra procesos deductivos por sobre aquellos asociados con los contenidos básicos.</p>	<p>Procesamiento de información gráfica.</p> <p>Requiere la interpretación del carácter vectorial de la demanda.</p> <p>No requiere una integración de conceptos, sino que promueve la operatoria.</p>

---

Los enunciados de los problemas propuestos para resolver en la segunda clase se muestran en la figura 5.3.

- 1) Una superficie gaussiana esférica de radio 1.0 m está centrada en una partícula con carga de 1.0 nC.
  - a) ¿Cuánto vale el área de la esfera?
  - b) ¿Cuánto vale  $\mathbf{E}$  en los puntos de la esfera?
  - c) Determinar el flujo a través de la esfera mediante las respuestas de (a) y (b).
  - d) Repetir los apartados anteriores para una esfera gaussiana de 2.0 cm de radio.
  - e) Utilizando el Teorema de Gauss y adoptando la superficie gaussiana más conveniente, encuentre la expresión del campo  $\mathbf{E}$  en función de la distancia  $r$  a una carga puntual.
  
- 2) Encuentre el potencial eléctrico a lo largo del eje de un disco uniformemente cargado de radio  $a$  y carga por unidad de área  $\sigma$ . Calcular el valor del potencial a una distancia de 20 cm. si  $a = 10$  cm. y  $\sigma = 1 \cdot 10^{-6} \text{ C/cm}^2$ .



- 3) Calcular el campo eléctrico producido por una distribución de cargas en un cascarón cilíndrico dada por la expresión:  $\rho = a \times r$ , donde  $a$  es una constante y  $r$  es la distancia normal al eje del cilindro.

**Figura. 5.3.** Problemas trabajados en la segunda clase observada en ambos cursos

**Tabla 5.4.** Análisis de los problemas trabajados en la 2da clase observada, considerando su estructura, lenguaje, contenido conceptual y procedimiento requeridos para su resolución

	<b>Problema 1</b>	<b>Problema 2</b>	<b>Problema 3</b>
<b>Estructura</b>	Cerrado, con un modelado explícito. El formato es del tipo: enunciado con datos y preguntas separados. Carece de un contexto problemático vinculado con la ingeniería. Contiene sólo información relevante.	Cerrado, con un modelado explícito. El formato es de texto único, con pregunta y datos textuales integrados. Presenta un esquema que contiene la información requerida para resolver el problema. Carece de un contexto problemático vinculado con la ingeniería. Contiene sólo información relevante	Cerrado, con un modelado explícito. El formato es de consigna única, con inclusión de datos textuales y numéricos integrados. No presenta un esquema que actúa como soporte de comprensión Carece de un contexto problemático vinculado con la ingeniería. Contiene sólo información relevante
<b>Lenguaje</b>	Textual, numérico, con carga abstracta. Se hace mención implícita a la simetría del problema.	Textual, numérico y gráfico, con carga abstracta.	Textual, numérico, con carga abstracta. El texto indica una geometría que muestra una fuerte simetría en la distribución dada.
<b>Contenido conceptual requerido</b>	Disciplinar, sin sugerir un perfil conceptual explícito (coulombiano o maxwelliano). Nociones básicas de geometría plana, identificación de superficie de flujo.	Disciplinar, no estableciendo explícitamente el perfil. Análisis de comportamientos y posibles modelizaciones sustitutivas	Disciplinar, no estableciendo explícitamente el perfil. Requiere el procesamiento de términos que indican la distribución de cargas ( <i>en un cascarón cilíndrico</i> ).
<b>Procedimientos requeridos</b>	Identificación de la geométrica de la distribución. Selección de la estrategia de resolución una vez establecido el perfil: cálculo de flujo y concepto de campo. Posibilidad de operar por procedimientos de simetría. Aplicación de la ley de Gauss	Procesamiento de información gráfica. Requiere la interpretación del carácter vectorial de la demanda en forma implícita y del carácter funcional ( $E=f(x)$ , $V=f(x)$ ). Involucra procesos deductivos por sobre aquellos asociados con los contenidos básicos.	Procesamiento de información gráfica. Requiere la interpretación del carácter vectorial de la demanda. No requiere una integración de conceptos, sino que promueve la operatoria.

---

Las características relevantes, asociadas con las dimensiones de análisis establecidas en la tabla 4.2, identificadas en el trabajo en el aula con los problemas constituyen los resultados básicos emergentes de la observación. Las mismas se presentan, a continuación, y fueron semejantes en ambos grupos:

#### Dimensión epistemológica

- Dificultad de los estudiantes para inferir la distribución de las líneas de campo asociada a la intensidad de campo eléctrico (componente física), basándose en argumentos de simetría (componente formal) al aplicar la ley de Gauss. Imaginan las líneas de campo eléctrico de manera similar a lo que aparece en los textos.

El **alumno 1** reduce la explicación de la ley de Gauss al uso de la simetría: *"...la ley de Gauss utiliza la simetría lo cual hace que se faciliten los planteos de los campos eléctricos"*. El mismo alumno, en otro momento de la clase, atribuye la semejanza entre la ley de Gauss y la de Coulomb a la posibilidad de calcular la intensidad del campo eléctrico por ambas, pero denotando debilidades en los fundamentos conceptuales que sostienen y diferencian ambas formulaciones: *"La ley de Gauss y de Coulomb tienen gran semejanza ya que, por ejemplo, se puede deducir el campo eléctrico de la ley de Coulomb a través de la ley de Gauss."* (La expresión subrayada será posteriormente analizada en la dimensión lingüística).

El **alumno 5** para el caso del campo **E** asociado a una esfera conductora afirma: *"...el campo eléctrico cuando  $r$  sea cero es igual a una carga puntual con las líneas hacia fuera ya que es una carga positiva y al ir aumentando  $r$  hasta infinito el campo eléctrico será desde la superficie de la esfera tangente a la misma y lo único que variaría sería la densidad de carga ya que la misma seguirá teniendo la misma carga pero va a variar la superficie del mismo"*

Los fragmentos del texto subrayado denotan el reconocimiento de

similitudes entre la expresión matemática del campo  $E$  a una distancia genérica  $r$  de una carga puntual y el de una esfera conductora de radio  $R$  para valores del radio de la superficie gaussiana  $r > R$ . Sin embargo, el alumno no advierte el error introducido en su razonamiento al considerar la posibilidad que  $r$  tome el valor cero sobre la superficie de la esfera conductora. En la construcción de su argumentación se observa la exclusión del concepto de flujo de las líneas de campo sobre el cual subyace la similitud observada. Tampoco incorpora en su argumentación el uso de la superficie gaussiana para el cálculo del flujo neto ni el hecho de ser el campo eléctrico nulo en el interior de la esfera. Si bien organiza sus ideas considerando "...una carga puntual con las líneas hacia fuera..." que sugiera la organización de un modelo conceptual como el brindado en los libros de texto, no puede completar el mismo para dar sentido a la expresión matemática asociada.

- En el caso de problemas en los que aparece un sistema de cargas, el análisis se efectúa como si no existieran otras interacciones, por ejemplo, la gravitatoria (componente física). En este sentido se observa un acuerdo tácito entre docente y alumnos, sin reflexionarse en función de órdenes de magnitud (componente formal) de las intensidades de tales interacciones.
- Ausencia de diferenciación clara entre fuerza eléctrica y campo eléctrico por parte de los estudiantes (componente formal). El docente al iniciar la clase repasa los conceptos que abordará con los problemas propuestos, realizando una síntesis explicativa relacionando las magnitudes fuerza  $F$  y campo  $E$ . Sin embargo, los estudiantes evidencian dificultades en incorporar el perfil maxwelliano ya que reducen prácticamente el alcance del concepto de campo  $E$  a su relación con la fuerza eléctrica  $F$  para el cálculo.
- Otro aspecto a considerar es la reducida actividad docente observada para promover en los estudiantes explícitamente la diferenciación

---

progresiva de los conceptos nuevos de otros previos. Así, el concepto de campo eléctrico **E** se organiza a través de su "anclaje", en el sentido ausubeliano, sobre el concepto subsumidor de fuerza **F**, una de las metas de aprendizaje de la asignatura Física Mecánica en la carrera de ingeniería de ambas universidades (componente física). Sin embargo, durante la resolución de problemas la vinculación entre ambos (**F** y **E**) se limita a una simple asociación para el cálculo (componente formal), dando por sentado que el estudiante será capaz por sí mismo de profundizar en una diferenciación progresiva. Tampoco se observa en la intención del docente ni en los alumnos el interés por enriquecer la relación entre **F** y **E** mediante la reconciliación integrativa requerida para un aprendizaje significativo (componente física).

- Omisión de la importancia del medio en la transmisión de la interacción eléctrica (componente física). Los estudiantes en sus expresiones verbales se expresan con el perfil que más dominan: el coulombiano y, por este motivo, conceden más importancia a la carga eléctrica localizada en el cuerpo pero sin involucrar en el análisis cuestiones espaciales asociadas con la transmisión de la interacción.
- La ausencia de un contexto problemático vinculado con la ingeniería impide un análisis integrador, limitándose la discusión del problema a un área disciplinar acotado (componente física) con fuerte énfasis en los procedimientos de cálculo (componente formal).
- Tendencia tanto en los docentes como en los alumnos de eludir argumentaciones implicando el significado físico del potencial eléctrico (componente física), observándose una insuficiente conceptualización del mismo aún cuando se lo pueda expresar adecuadamente en forma simbólica (componente formal). En las clases de resolución de problema, se hacen escasas referencias desde el discurso docente y de los alumnos a la relación con el análisis de la circulación como una de las propiedades que caracteriza al campo eléctrico.

Dimensión lingüística

- Dificultad de los estudiantes para enunciar verbalmente la interpretación de las relaciones matemáticas que expresan las definiciones (componente literal). El aprendizaje que prevalece es el de símbolos matemáticos  $E = F/q$ , asociados con una operatoria simple. Se recurre con poca frecuencia a explicitar conceptos tales como: región o espacio que rodea a una carga, transmisión de interacción, flujo de líneas de fuerza, circulación a lo largo de una trayectoria, que posibilitarían la selección de subsumidores adecuados, que de manera sustantiva y con propósitos organizativos le darían mayor poder explicativo y generalidad al concepto de campo eléctrico  $E$ . La única excepción es el uso del término *simetría*, como se vio en la expresión del alumno 1 en la dimensión epistemológica: "...la ley de Gauss utiliza la simetría lo cual hace que se faciliten los planteos de los campos eléctricos", si bien está ligada con el cálculo y no a la consideración de cuestiones geométricas en torno a un punto, un eje o un plano.
- Escaso empleo de estrategias lectoras para contribuir a la comprensión del enunciado de los problemas propuestos, por parte de los estudiantes (componente literal). La comprensión del concepto de campo  $E$  implica conocer su lenguaje para luego aplicarlo a los problemas propuestos. Las ideas genéricas no son suficiente para adquirir significados complejos como el de campo  $E$ , como se ha venido puntualizando.
- Dificultad para expresar las relaciones entre los datos y las hipótesis vinculadas con la temática estudiada. Trabajan casi exclusivamente a partir de fórmulas y definiciones (componente numérica). Establecen relaciones entre magnitudes y conceptos ( $F$ ,  $E$ ,  $V$ ) pero sin un modelo de trabajo con poder explicativo.
- Dificultad para analizar los datos literales, dando primacía a los numéricos (componente numérica). Algunos estudiantes distinguen las

---

características específicas del campo eléctrico utilizando fórmulas y definiciones de los textos. Frente a un problema, determinan los conceptos involucrados y recurren a las fórmulas que consideran adecuadas.

- Confusión en los estudiantes en la expresión de sus ideas como se señala con el subrayado (alumno 5: *"el campo eléctrico cuando  $r$  sea cero es igual a una carga puntual con las líneas hacia fuera ya que es una carga positiva y al ir aumentando  $r$  hasta infinito el campo eléctrico será desde la superficie de la esfera tangente a la misma..."*) En el primer caso debería indicar es igual al de una carga puntual y en el segundo caso confunde tangente con perpendicular (componente literal).

#### Dimensión psicológica

- El nivel de abstracción que deberían haber alcanzado es insuficiente para analizar y plantear los problemas en la mayoría de los estudiantes (componente estrategias cognitivas), registrándose la influencia sobre la actuación del grupo de posibles estudiantes "líderes" de conocimiento como de la ayuda generada por la intervención del docente.
- Ausencia de análisis de los sistemas físicos involucrados en el problema por parte de los alumnos, no se explicitan cuáles son los componentes básicos que podrían sustentar sus posibles modelos mentales (componente estrategias cognitivas). Se advierten expresiones que sugieren que se actúa utilizando modelos mentales proposicionales susceptibles de ser verbalizados con diferente nivel de precisión y alcance. A modo de ejemplo se transcribe, a continuación, el enunciado que hacen dos alumnos de la ley de Coulomb en una etapa de la resolución de un problema:

**Alumno 2:** *"La ley de Coulomb nos da la fuerza con la que actúan las cargas neta  $q_n$  con respecto a la carga de prueba  $q_0$  que arbitrariamente es positiva."*

El **Alumno 2** produce un enunciado centrado en un modelo mental conformado por un sistema de cargas donde sólo se diferencia una, tanto por su carácter (de prueba) como por su tipo de carga. El enunciado sugiere un razonamiento sustentado en el principio de superposición de fuerzas, más que en la relación binaria implicada en la ley de Coulomb. Las referencias a las relaciones espaciales no son explicitadas.

**Alumno 3:** *“La ley de Coulomb nos dice que la fuerza eléctrica entre dos cargas ( $q_1$  y  $q_2$ ) es directamente proporcional a las mismas,*

*(Escribe):  $\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{\vec{r}_{1-2}^2}$ .” inversamente proporcional distancia del cuadrado*

*entre las dos cargas.*

El alumno 3 expresa la ley en términos de las proporcionalidades matemáticas involucradas en la expresión formal, sin avanzar en una caracterización de la naturaleza vectorial de la fuerza eléctrica, o bien, de la influencia del tipo de cargas involucradas sobre el carácter atractivo o repulsivo de la interacción. Esto influye en el sentido que atribuye al resultado emergente de la resolución. Su modelo mental se organiza con dos elementos (las cargas como dos entidades genéricas y puntuales) incorporando como relación espacial entre ellas a la distancia  $\vec{r}_{1,2}$ . El mismo se correspondería con un modelo mental relacional.

Esta observación estaría indicando que, en este caso, los estudiantes razonan basados en un modelo mental de la situación donde el medio es excluido como uno de los elementos básicos o tokens.

- Ausencia de procesos de resignificación de los conceptos básicos involucrados en los problemas trabajados en la clase, tales como: campo eléctrico  $E$ , líneas de campo y otros asociados -potencial, energía potencial-, con la intención de propiciar un aprendizaje significativo, a través de procesos de diferenciación conceptual y reconciliaciones integradoras (componente voluntad). El docente no resuelve el problema

---

en el pizarrón sino que va por grupos de alumnos y hace aclaraciones o responde a las preguntas que le realizan los estudiantes. Se advierten inconvenientes para la ubicación e interpretación del fenómeno en el espacio (componente estrategias cognitivas): para algunos estudiantes una esfera conductora es representada por un disco, otros no analizan que sucede con la distribución de cargas dentro de la esfera ni de  $r > R_{\text{esfera}}$  a  $r \rightarrow \infty$ . Esto daría cuenta, desde una perspectiva psicológica, que los estudiantes utilizan modelos básicamente proposicionales y carecen de los elementos básicos (tokens) que darían idea de la organización tridimensional de una distribución de cargas en el espacio físico. También se registra la ausencia de procedimientos (componente estrategias cognitivas), por parte de los estudiantes para identificar las simetrías en los problemas. En general, se observa que no asocian la configuración de cargas con la noción de simetría. En el modo de hacer y decir ante un problema en el que el concepto de simetría sea relevante para la caracterización espacial del campo eléctrico  $\mathbf{E}$  se encuentran indicios que permitan identificar los modelos mentales construidos para organizar la resolución de los problemas.

- Omisión de varios estudiantes de procedimientos para identificar las simetrías en los problemas en forma autónoma, desperdiciando la oportunidad para analizar soluciones alternativas que, en la mayoría de los casos, ofrecen una significativa reducción del tiempo de resolución. El docente no discute otros procedimientos y se limita a que el esfuerzo provenga de los estudiantes (componente voluntad).

#### Dimensión metodológica

- Resolución de problemas en grupos de alumnos mientras el docente toma un rol activo al comienzo de la clase planteando él un diagrama del problema y anotando los datos numéricos (componente centrada en el docente). Da los lineamientos generales, traduce el problema al sistema de significados los procedimientos expuestos por el profesor en la clase

de teoría y solicita que sigan la resolución los estudiantes. El docente indica los pasos a seguir y orienta en la lectura del enunciado, ayuda a seleccionar la información más significativa y a definir una dirección de resolución. Finalmente se acerca a aquellos que lo requieren que, en general, son los estudiantes más predispuestos a la resolución de problemas.

- Ausencia de análisis de los sistemas físicos involucrados en el problema por parte de los alumnos, procediéndose a una inmediata resolución algorítmica. El docente no ahonda la discusión sobre sistema de referencia, sistemas de coordenadas y solicita a un estudiante que aporte sólo el resultado de la resolución del problema (componente centrada en el docente).
- Dificultad para la ubicación e interpretación del fenómeno en el espacio, que el docente atribuye a las cátedras del área Matemática, ya que es en las asignaturas correspondientes al área de Análisis Matemático donde deben adquirir esos contenidos específicos (componente centrada en el currículo). Una expresión del docente fue: *“Esto lo deben conocer de análisis, les recomiendo que se entrenen en el manejo de vectores y trigonometría”*.
- La ley de Gauss es connotada como si diera respuesta a todos los problemas, observándose la tendencia a presuponer que, en forma derivada, la ley que implica la circulación del campo eléctrico debe, también, cumplirse. Sin ningún análisis previo se recurre a la ley aludida en forma automática como un único método de resolución derivado del énfasis puesto en clase en la resolución de problemas a través de este teorema (componente centrada en el currículo)
- El trabajo es exclusivo con problemas que involucran cargas aisladas como entes abstractos, o la aplicación de la ley de Gauss a situaciones con alta simetría. Se observa escasa reflexión sobre los conceptos físicos

---

implicados y se promueve la operatividad matemática (componente centrada en el currículo).

### **5.2.2. LA CLASE DE TRABAJOS PRÁCTICOS DE LABORATORIO OBSERVADA Y EL ANÁLISIS DE LOS INFORMES DEL TRABAJO PRÁCTICO**

Los trabajos prácticos se realizan en un laboratorio acondicionado para tal fin. Según emerge de las referencias del docente, los trabajos prácticos son ejecutados por los alumnos, aunque con un grado variable de participación de parte del docente a cargo. Estos trabajos implican el uso de procedimientos científicos de diferentes características (observación, formulación de hipótesis, técnicas manipulativas, elaboración de conclusiones, etc.). Requieren el uso de material específico y resultan, a veces, más complejos que las clases de resolución de problemas ya que los alumnos deben interactuar con los elementos de laboratorio con los cuales no se hallan totalmente familiarizados, tales como electroscopios, milivoltímetros y galvanómetros.

El docente responsable<sup>6</sup> al ser el mismo en los cursos de FIQ y FRSF le imprime el mismo ritmo y utiliza los mismos materiales e instrumentos así como la misma guía de trabajos prácticos.

La clase de laboratorio fue la segunda observada y trascurrió luego de presentar los conceptos básicos de: carga, fuerza eléctrica y campo eléctrico y potencial eléctrico. En la clase observada (se realizaron las actividades presentes en la guía de electrostática (ver Anexo I). Incluyen experiencias con distinto grado de dificultad que los alumnos deben realizar en grupo, analizando las situaciones presentadas y sacando conclusiones sobre la base de los conceptos previamente desarrollados en la clase de

---

<sup>6</sup> El docente auxiliar colabora entregando los materiales y respondiendo consultas específicas sobre el montaje de equipos, actuando marginalmente en las consultas de carácter conceptual.

teoría y resolución de problemas, entre ellos los conceptos de campo eléctrico  $E$ , fuerza eléctrica  $F$  y potencial eléctrico  $V$ . Se observó una única clase experimental en ambos cursos que corresponde al trabajo práctico de electrostática, único trabajo práctico previsto para contenidos relacionados con campo eléctrico donde se realizan una serie de experiencias de tipo cualitativa.

El docente inicia la clase presentando cómo serán las actividades en el laboratorio, por ser la primera instancia de trabajos prácticos experimentales de los cursos, explicando las condiciones de aprobación y el formato que deben tener los informes. Luego, los alumnos se reúnen en grupos alrededor de las mesas donde desarrollarán en conjunto las experiencias indicadas en la guía mencionada.

En ambos cursos se observa que algunos alumnos no cuentan con la guía correspondiente al trabajo práctico y deben ir a fotocopiarla o adquirirla en el centro de impresiones del Centro de Estudiantes de la Facultad o bajarla del sitio de Internet de la cátedra, demorando su participación en las actividades. La mayoría no ha leído previamente la guía. Así, los alumnos están un tanto desorganizados para encarar el trabajo práctico. El docente solicita a los estudiantes que se integren en grupos de 3 miembros y que comiencen a desarrollar las actividades, indicando que disponen de tres horas para realizar el práctico y elaborar conclusiones acerca de lo observado en cada experiencia.

La clase transcurre en un clima distendido. Los alumnos consultan al docente sus dudas, algunas experiencias no se pueden visualizar correctamente, los elementos a usar deben ser secados previamente con un secador de pelo. El docente recorre las mesas indagando a los alumnos y aclarando dudas.

Se transcriben, a continuación, algunas de las respuestas dadas por los estudiantes a las experiencias presentadas en la guía de trabajos

---

prácticos, así como algunas cuestiones significativas que fueran observadas durante la clase.

La observación de los distintos grupos de estudiantes durante el desarrollo de las actividades permitió reconocer aspectos relevantes para la investigación. En la lectura de los informes del trabajo práctico se encontraron semejanzas en los razonamientos utilizados por los 5 grupos de la FIQ y los 15 de la FRSF para responder a las cuestiones planteadas en el trabajo práctico. En consecuencia, se hizo un agrupamiento de respuestas semejantes, favorecido por el hecho de presentar los informes de los alumnos de ambos cursos características similares en cuanto a su organización, justificaciones de las experiencias y gráficos. Las mismas se detallan a continuación, en función de las dimensiones definidas para el análisis en la tabla 4.2:

#### **A) De los grupos de alumnos de la FIQ-UNL**

##### Dimensión metodológica

- La clase se inicia en el aula destinada a la realización de los trabajos prácticos, a cargo de un Jefe de Trabajos Prácticos y un ayudante. Los alumnos se sientan alrededor de mesas donde está distribuido el material. El docente a cargo inicia la clase solicitando que todos tenga la guía correspondiente y recorre las mesas dando algunas indicaciones prácticas de uso de los elementos distribuidos. Algunos estudiantes toman la iniciativa y comienzan a manipular los elementos otros se disponen a escribir lo que otros realizan. La evaluación del trabajo práctico se realiza a través de la entrega por los alumnos de un informe con los gráficos y justificaciones correspondientes a cada experiencia. El trabajo práctico se realiza en grupos de alumnos pero el informe es individual. Del registro realizado se desprende que la organización del trabajo responde a una modalidad de trabajo tradicional (componente centrada en el currículo). No existe una instancia posterior donde se discuten las correcciones

realizadas por el profesor, los estudiantes relativizan su importancia frente a la resolución de problemas. Se observó, así, la ausencia de un espacio de análisis y discusión compartida que contribuya a la integración de contenidos teórico-prácticos por parte de los alumnos. En general, se registró muy reducida influencia personal del docente, dinamizando la clase de laboratorio (componente centrada en el docente).

### Dimensión epistemológica

- Las experiencias son analizadas desde un punto de vista fenomenológico: los informes incluyen descripciones detalladas de los registros, con escasas argumentaciones vinculando los conceptos teóricos con lo observado en la experiencia. La siguiente transcripción muestra el texto del informe elaborado por el alumno 3, en relación con la experiencia 10: *Pantalla electrostática*:

*Alumno 3: "... Al realizar la experiencia se observa que las hojuelas al acercar una barra cargada a la jaula conteniendo en su interior un electroscopio cargado, se separan levemente a pesar de que teóricamente las mismas deberían mantenerse inmóviles, ya que la jaula actúa como un conductor y dentro del conductor el campo E es cero.*

*Para verificar esto, hicimos la misma experiencia prescindiendo de la jaula y observamos que la separación de las hojuelas es mayor.*

*Cuando tocamos la jaula como la carga se distribuye en la superficie de la misma, las hojuelas se movieron levemente, verificando lo dicho anteriormente que el campo en el interior del conductor es cero..."*

En la misma se observa que registra un hecho observacional: "se separan levemente (las hojuelas del electroscopio)" que halla contradictoria con la teoría trabajada en el aula y en los textos "...a pesar de que teóricamente las mismas deberían mantenerse inmóviles... dentro del conductor el campo E es cero."

---

Se observa que el alumno sólo describe lo realizado y observado. Encuentra la contradicción con la teoría pero no intenta resolverla ni busca explicaciones alternativas. Sus expresiones dan indicios de un modelo básicamente proposicional en el que se declara la ausencia de campo eléctrico en el interior de un conductor cargado, soslayando un estudio más profundo relacionado con la leve separación de las hojuelas del electroscopio.

- En algunos casos, la imprecisión en las expresiones escritas no permite diferenciar si se hace referencia a una fuerza a distancia o bien se enuncia el efecto sobre una carga testigo de la presencia del campo eléctrico, como es el caso del alumno 5 al referirse a la experiencia 6: *Campo eléctrico* señala: "Al alejar el péndulo o acercarlo observamos que la interacción es mayor o menor". Éste es un caso donde no puede reconocerse el perfil epistemológico que sustenta ya que sólo describe lo observado, sin intentos de explicación.
- En el análisis de la dimensión epistemológica (tabla 4.2) la componente formal está ausente ya que los alumnos sólo describen y justifican lo observado en las experiencias a través de dibujos a mano alzada y con lenguaje escrito. En la figura 5.4 se muestra un fragmento del informe del alumno 10 correspondiente a la experiencia 7 (II): *Inducción electrostática, cargas inducidas*, donde en el texto se explicita la secuencia gráfica que luego incluye el alumno. La explicación se basa en el "movimiento" de cargas. La interacción entre cargas queda implícita en el uso de términos como 'inducción' o expresiones del tipo 'se rechaza'.
- No hay intención de representar gráficamente fuerzas actuantes o líneas de campo. Esto no permite identificar el perfil epistemológico desde el cual muchos alumnos formulan sus explicaciones.

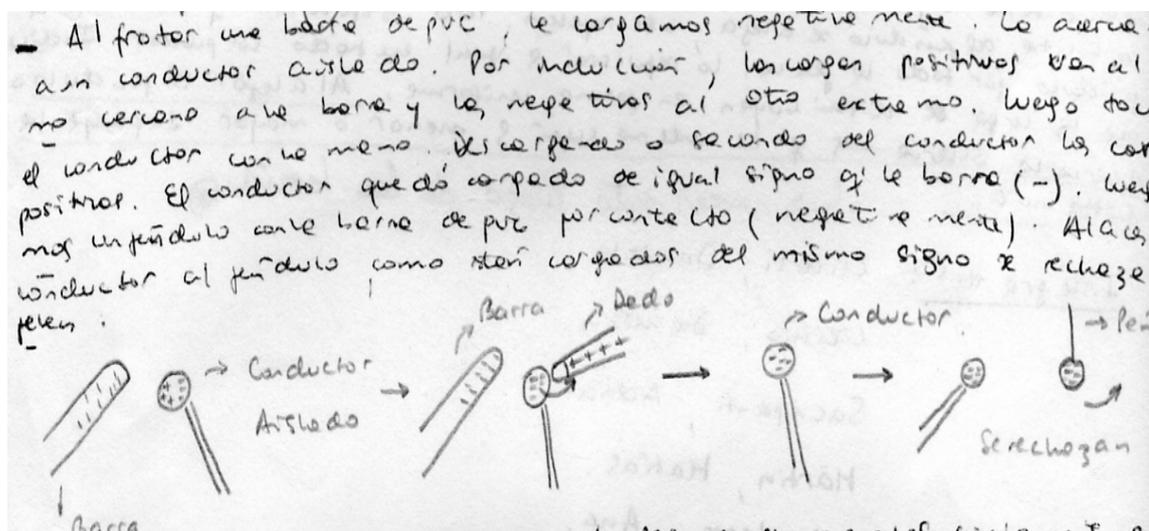


Figura 5.4 Representación del alumno 10 para la experiencia 7 de la guía

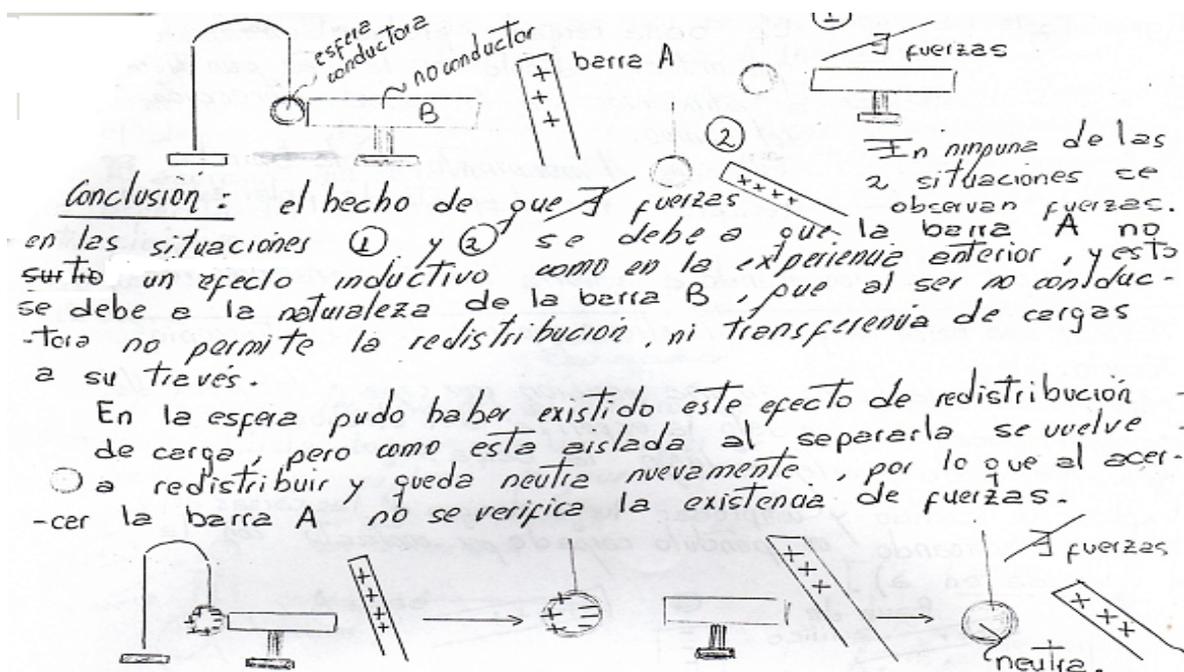
### Dimensión psicológica

- Los textos de los alumnos contienen una fuerte carga observacional con reducidos aportes explicativos que permitan inferir los posibles modelos mentales construidos. En general, la atribución de significados se expresa a través de un modelo básicamente proposicional. Se hizo la transcripción de los textos en los que algunos estudiantes comunican sus registros de las experiencias indicadas en el Anexo I. En el cuerpo del texto se incluyen comentarios asociados con la interpretación de las ideas del estudiante atendiendo a elementos del marco teórico utilizado:

El alumno 5 en referencia a la experiencia 6: *Campo eléctrico*, expresa: *...“Cargamos una pantalla metálica con una barra frotada y luego cargamos de igual signo (implícitamente alude a utilizar la misma barra frotada en condiciones idénticas) un péndulo. Al acercarlo a la pantalla el péndulo, observamos que por tener la carga del mismo signo la bolita del péndulo se aleja, o se repelen. Pero observamos que al mover el péndulo, la repulsión es igual en todos los puntos. Indica que las cargas se distribuyen en forma uniforme.* (La expresión del estudiante sugiere que

ha organizado un modelo mental proposicional: cuerpo con carga eléctrica uniforme sobre su superficie) Al alejar el péndulo o acercarlo observamos que la interacción es mayor o menor (No advierte la incongruencia entre lo observado y lo que escribe: alejar – mayor interacción.). Influye la simetría (No explicita ni fundamenta la función que atribuye a la simetría en la interpretación de lo observado)”.

Como se ha mencionado en la dimensión epistemológica al analizar el informe del alumno 3 en referencia a la experiencia 10: *Pantalla Electrostática*, pareciera también haber organizado un modelo básicamente proposicional.



**Figura.5.5.** Representación del alumno 4 para la experiencia 4 Propiedades de los materiales desde el punto de vista eléctrico

- La figura 5.5 corresponde al informe del alumno 4 sobre la experiencia 4: *Propiedades de los materiales desde el punto de vista eléctrico*. Se observa en las figuras que acompañan el texto cómo el estudiante



---

*comprobó acercando los conductores a un péndulo cargado negativamente.*

El texto producido por el alumno 10 permite inferir la organización de un modelo mental con las cargas positivas y negativas como elementos constitutivos, con relaciones espaciales entre ellas, sujetas a cambios, pero sin aludir explícitamente a algún tipo de acción que intervenga en los cambios.

- El alumno 15 en relación con la experiencia 6: *Campo eléctrico*, señala sin realizar ningún gráfico o imagen que acompañe al texto: *"Cargamos una pantalla metálica con una barra frotada y luego cargamos de igual signo a un péndulo. Al acercar a la pantalla el péndulo observamos que por tener la carga del mismo signo la bolita del péndulo se aleja o se repele. Pero observamos que al mover el péndulo por toda la jaula, la repulsión es igual en todos los puntos. Índice que las cargas se distribuyen en forma uniforme. Al alejar el péndulo o acercarlo observamos que la interacción es menor o mayor. Influye la distancia"*

En el informe de este alumno se evidencia una indefinición en su proceso de conceptualización de campo eléctrico, por cuanto se observa que ha centrado su atención en la distribución espacial de cargas y en la distancia que media entre el cuerpo y el péndulo, pero en ningún momento alude al concepto de campo **E**. Es posible que aún esté recurriendo al modelo coulombiano para describir la experiencia en términos de una interacción dependiente de la distancia.

El análisis de la situación planteada requiere de una concepción de la interacción eléctrica fundamentada en el concepto de campo eléctrico **E**, que permite un tratamiento más general de los problemas electrostáticos, pensando en el campo eléctrico **E** como una descripción del estado del espacio en una región dada. Aleja la atención de las cargas que crean el campo eléctrico y en su lugar centra la atención en el efecto

que su presencia tiene en el espacio que rodea las cargas.

Varios estudiantes dan explicaciones donde se advierte la posible existencia de modelos mentales que incluyen a las cargas como elementos constitutivos con la posibilidad de transferirse y redistribuirse. Sus expresiones son ambiguas en su generalidad, no dan evidencias de concebir la carga eléctrica como un continuo o un conjunto de entidades discretas. Tal es el caso del alumno 8 en referencia a la experiencia 9: *Electroscopio: "...El electroscopio al ser tocado con una esfera se descarga ínfimamente, observando que las hojuelas se acercan muy poco. Al volverlo a tocar con la barra de metal aislada, se descargó en mayor proporción, ya que se observó un mayor acercamiento de las hojuelas. Esto se debe a la capacidad de carga que tiene cada uno de acuerdo a su superficie...".*

En algunos estudiantes se observó que ese modelo tiene vigencia también para justificar lo observado en un proceso de inducción eléctrica, sin dar cuenta de efectuar una revisión recursiva de su modelo ante la ausencia de contacto entre los cuerpos involucrados. Esto estaría denotando la dificultad para diferenciar conceptualmente los procesos de carga por contacto y por inducción. La siguiente transcripción muestra lo señalado:

*Alumno 7 en relación con la experiencia 7: (I) Electrificación: "... Al frotar una barra cualquiera de PVC, vidrio o acrílico y acercarlas al papel o al pelo, hay transferencia de carga negativa (por inducción) en el caso del PVC y el acrílico, el vidrio se carga positivamente.*

*Una vez que el papel se levanta y se pega a la barra, se produce la transferencia de carga hasta que la superficie de contacto se satura de cargas del mismo signo y entonces se repelen...".*

Se podría interpretar que detrás de esta explicación subyace un modelo mental cinemático, temporal y psicológicamente continuo, que representa cambios y movimientos de las entidades representadas.

---

### Dimensión lingüística

- Los alumnos recurren al uso del lenguaje natural para la justificación a las situaciones planteadas. Así en el texto de la Fig. 5.4 se recurre a expresiones tales como *"las cargas van hacia..."* sugiriendo un modelo mental cinemático; *"...como están cargados del mismo signo se rechazan"* en alusión a un efecto de repulsión que podría atribuirse a un posible modelo mental dinámico.
- Las relaciones entre los aspectos teóricos y los datos e informaciones obtenidos en el trabajo práctico son fundamentales, jugando aquí el docente un rol esencial. La corrección que hace el docente del material entregado por el alumno destaca, con las leyendas incluidas en el trabajo práctico, la existencia de proposiciones vagas o ambiguas, expresadas en un lenguaje natural sin prestar mayor atención a los argumentos científicos desarrollados en clases teóricas y la de resolución de problemas previa. Las explicaciones de los estudiantes sobre electrización por frotamiento de una barra de PVC sugieren que se concibe que la materia antes de ser frotada posee cargas (Alumno 10: *"...la barra de PVC está inicialmente electrizada, al frotar se carga negativamente..."*). Sin embargo, esto no fue observado en la corrección por el docente ni sujeto a discusión con el alumno.

En este comentario y entrelazando diferentes dimensiones consideradas (lingüística, psicológica y epistemológica), se pone de manifiesto que los estudiantes estarían produciendo inferencias sobre la base de un modelo mental en cierto modo compatible con la hipótesis de Franklin desarrollada en el capítulo 2, apartado 2.4.1, en la que los cuerpos no electrizados contenían una cantidad definida 'normal' de un fluido eléctrico. La electrización consistía, bien en que el cuerpo adquiría una cantidad extra del fluido y quedaba electrizado positivamente o perdía parte de su cantidad normal quedando electrizado negativamente. Sin embargo, la indefinición en torno a la noción de carga encontrada en las

expresiones no permite reconocer si está pensando en ellas con una naturaleza continua o discreta.

## **B) De los grupos de alumnos de la FRSF-UTN**

### Dimensión metodológica

- El trabajo práctico se realiza en grupos de alumnos, en una sala acondicionada con dos mesas y mesadas donde se distribuye los elementos a utilizar en el práctico. El profesor requiere que cada grupo busque los elementos para la realización de las experiencias. Los alumnos son numerosos (45) y el ambiente de trabajo es bastante caótico. El profesor indica que el informe se realice en forma grupal. A semejanza a lo observado en la FIQ, el profesor tampoco recurre a un poslaboratorio, con análisis de las producciones de los estudiantes. No discute con ellos las interpretaciones, no analiza la pertinencia en el uso de palabras, tampoco promueve la argumentación de los alumnos (centrada en el docente). En consecuencia, los estudiantes no aprecian la importancia del laboratorio para la construcción de conocimientos. La evaluación del trabajo práctico se realiza a través de la entrega de los informes con los gráficos y justificaciones correspondiente a cada experiencia.<sup>7</sup>

### Dimensión epistemológica

- Las experiencias son analizadas desde un punto de vista fenomenológico: al igual que en la FIQ los informes presentan narraciones detalladas de las anotaciones realizadas en el laboratorio con reducidas argumentaciones vinculando los conceptos teóricos con lo observado en la experiencia. La siguiente transcripción muestra el texto del informe elaborado por un grupo, que da evidencias de adoptar un perfil de tipo coulombiano:

**Grupo 1** en referencia a la experiencia 1: *Tipos de cargas: "... Al frotar*

---

<sup>7</sup> La condición de regularidad la fijan la asistencia y aprobación del 100% de los informes de trabajos prácticos

---

la barra de vidrio con el paño, la barra se carga positivamente por triboelectricidad (que es el traslado de cargas de un material a otro por fricción). Cuando acercamos la barra cargada a la esfera conductora que cuelga del hilo no conductor, la esfera es atraída por la barra, esto se debe a que las cargas positivas de la barra obligan a las cargas negativas de la esfera a ubicarse en el lado más cercano a la barra mientras que las cargas positivas se alejan, esto crea una pequeña fuerza de atracción entre las cargas positivas de la barra y las negativas de la esfera.

Cuando ponemos en contacto la barra con la esfera, observamos que automáticamente esta fuerza desaparece.

Desde el punto de vista epistemológico, la expresión de estos alumnos sugiere un razonamiento del tipo del modelo de los dos fluidos de Franklin presentado en el capítulo 2 apartado 2.4.1.

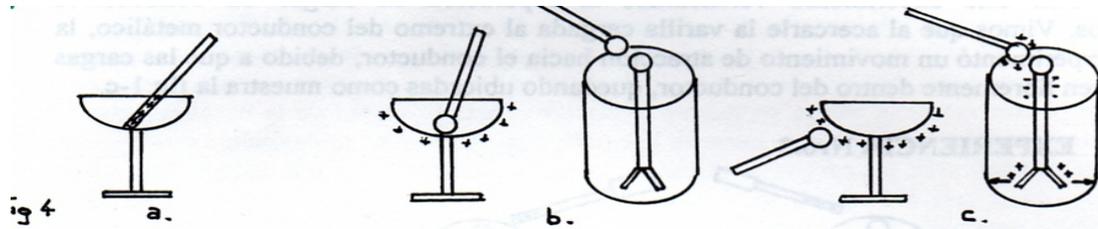
- Existen evidencia en el Grupo 6 para la experiencia 8: *Cargas en conductores huecos*, de la construcción de un perfil maxwelliano como se desprende del texto subrayado y de la figura 5.7:

*En esta experiencia se comprueban las leyes de Gauss y de Coulomb, utilizando un instrumento llamado la copa de Faraday. Tomando conocimiento de la primera podemos decir que una carga en exceso que se coloque en un conductor aislado se distribuye totalmente en su superficie exterior.*

*Esto lo comprobamos al cargar una varilla de vidrio por frotamiento ( $q+$ ), luego introduciéndola dentro de la copa hacemos contacto con la misma y se transfieren las cargas quedando la varilla descargada y la copa con las cargas correspondientes. Fig. 4-a. Ahora cabe preguntarse ¿Dónde quedaron las cargas? Para ello haremos uso de una varilla aislada, con una bolita conductora en la punta y un electroscopio.*

*En la fig.4-b podemos observar que tocando con la varilla el interior de la copa y luego al acercarla al electroscopio, no se detecta efecto alguno.*

En la fig.4-c tocamos el exterior de la copa con la varilla y al acercarla al electroscopio, observamos que las hojas se abren.



**Figura 5.7.** Representación del grupo 6 para la experiencia 8 de la guía de trabajos prácticos

En este grupo hay evidencias leves en su explicación y en los gráficos de la figura 5.7 que considera que las cargas “viajaron” hacia el exterior de la copa metálica y todas están ubicadas en la superficie externa del conductor, verificando que la carga encerrada en cualquier superficie interna es nula. Por lo tanto, al considerar que las cargas se distribuyen en la superficie, están explicitando la condición experimental de campo nulo dentro de un conductor en condiciones electrostáticas.

#### Dimensión psicológica

- En relación con el texto del grupo 1 en referencia a la experiencia 1: *tipos de cargas*, que ya fuera presentado y analizado en la dimensión epistemológica, puede inferirse la organización de un modelo mental proposicional, centrado en información convencional (carga eléctrica del vidrio: positiva) y en una concepción de transferencia de carga sin atribuir a la misma explícitamente carácter de continua o discontinua.
- Se observa en el siguiente fragmento del grupo 5, que los estudiantes estarían introduciendo explicaciones del fenómeno de inducción observado apelando a un modelo mental espacial donde las cargas, diferenciadas en positivas y negativas, registran cambios transitorios de

---

reubicación:

Grupo 5 en relación con la experiencia 9: *electroscopio*: "...Cuando acercamos una barra cargada al electroscopio, vemos que las aletas inferiores se separan, esto ocurre debido a la inducción, es decir, que las cargas positivas y negativas se van separando en los extremos del vástago del electroscopio (si la barra está cargada positivamente, las cargas negativas del vástago se ubican en la parte superior).

El modelo mental que puede inferirse como subyacente estaría respondiendo al postulado de conservación de la carga: *la carga eléctrica no puede crearse ni destruirse* (capítulo 2, apartado 2.4.2).

Otros estudiantes también dan evidencias de recurrir a un modelo mental donde la carga registra cambios espaciales de distribución y traspaso de un cuerpo a otro. No se observan expresiones que sugieran que se considera la carga neta de un cuerpo como desbalance entre cargas opuestas. Como referencia se muestra la producción del Grupo 7 en relación con la experiencia 4: *Propiedades de los materiales desde el punto de vista eléctrico*: "...Al acercar la barra "A" cargada (positiva) al conductor "B" que se encuentra aislado de tierra, las cargas negativas de "B" se trasladan al extremo más próximo a "A". Por lo tanto las cargas positivas se ubican en el extremo más lejano a "A", es decir, se acercan a la esfera del péndulo y como ésta está aislada, se produce traspaso de cargas negativas a la esfera hacia la barra conductora "A" y el resultado es que la esfera queda cargada".

En el modelo explicitado, la palabra *traspaso* alude a un comportamiento semejante al de un fluido, construido por analogía con influencia de la percepción.

### Dimensión lingüística

- El profesor deriva la corrección del trabajo práctico en el auxiliar, éste

realiza la tarea sin una fundamentación que les sirva a los estudiantes de realimentación para modificar los conceptos erróneos. Así, ninguno de los docentes aprovecho el informe del grupo 4 relativo a la experiencia 4: *Propiedades de los materiales desde el punto de vista eléctrico*, para discutir con el grupo y la clase, en general, el texto producido: "Un conductor se puede cargar por inducción y un aislante no porque las cargas no tienen el mismo movimiento o no se pueden mover con la misma facilidad". Esta expresión da indicios que se estaría recurriendo a un modelo mental cinemático donde se señala el movimiento de las cargas como componentes del modelo, considerando no sólo su movilidad sino la diferencia en hacerlo.

### **5.2.3. FACTORES QUE DIFICULTAN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS: RESULTADO DE LA ENCUESTA APLICADA A LOS DOCENTES**

Como se señalara en el apartado 4.1 del capítulo 4, los docentes del Departamento de Física de la FRSF-UTN no colaboraron contestando la encuesta mostrada en el cuadro 4.1. Entre los de la FIQ, sólo 4 de los 7 docentes lo completaron. En la tabla 5.5 se presentan los resultados, ordenados en forma decreciente en función del grado de acuerdo con las proposiciones indicando, además, la modalidad y dimensión con la que está relacionada cada una de ellas.

Puede observarse que los mayores consensos se registran sobre aquellas proposiciones que aluden a debilidades en las estrategias cognitivas requeridas para resolver problemas, tales como: búsqueda de recetas, ausencia de criterios para simplificar una situación conservando los atributos esenciales, diferenciación en la importancia asignada a los datos numéricos y literales.

**Tabla 5.5.** Resultados de la encuesta (cuadro 4.1) aplicada a docentes de la FIQ. (El decrecimiento en la intensidad del sombreado indica la disminución de acuerdo.)

Proposición	Código	Modalidad	Dimensión
Desconocimiento de las posibles estrategias de resolución de problemas	P2	estrategias cognitivas	psicológica
Dificultad para identificar los principios y leyes generales que permiten organizar la solución del problema.	E2	componente física	epistemológica
Dificultad para modelizar el problema	E1	componente formal	epistemológica
Tendencia a utilizar sólo los datos numéricos del problema para hallar las ecuaciones que utilizarán en la resolución	P2	estrategias cognitivas	psicológica
Escaso tiempo destinado a la comprensión de la situación problemática planteada.	M1	voluntad	psicológica
Tendencia a buscar recetas para aplicar en la resolución de problemas	P2	estrategias cognitivas	psicológica
Conocimiento insuficiente de matemática básica	E1	componente formal	epistemológica
Escasa o insuficiente dedicación personal extraaúlca	M1	centrada currículo	metodológica
Dificultad intrínseca debido al alto nivel de abstracción conceptual de la asignatura	E2	componente física	epistemológica
Falta de coordinación entre los contenidos teóricos y las clases de resolución de problemas.	M1	centrada currículo	metodológica
Falta de comprensión de los problemas que resuelve en clase el profesor	P2	estrategia cognitiva	psicológica
Escasa profundización de los contenidos de las clases teóricas	E2	componente física	epistemológica
Escasa dedicación y/o esfuerzo personal del alumno.	P1	voluntad	psicológica
Dificultad en la comprensión de los enunciados de los problemas.	L2	literal	lingüística
Escasa preparación del profesor en la enseñanza de la resolución de problema.	M2	centrada docente	metodológica
Excesiva complejidad de los problemas propuestos por el docente.	P2	estrategias cognitivas	psicológica
Falta de desarrollo de situaciones problemáticas en clases	M2	centrada docente	metodológica
Dificultad para reconocer los datos expresados en forma no numérica	L2	literal	lingüística
Falta de coordinación entre los contenidos teóricos y las clases de resolución de problemas.	M1	centrada en el currículo	metodológica

Las proposiciones asociadas con las dimensiones: epistemológica y metodológica, son las que, en mediano grado, consideran que dificultan la resolución de problemas siendo la dimensión lingüística la menos atendida por los docentes.

El más bajo grado de acuerdo se registró en las proposiciones que hacen referencia a aspectos que aluden a actividades de responsabilidad de los docentes. Al efectuar el cruce de las opiniones con los datos de formación académica y área de trabajo, pudo observarse que sobre esto inciden las diferentes funciones y experiencia de profesores y jefes de trabajos prácticos, a pesar que las actividades que realizan frente al curso son las mismas.

#### **5.2.4. LA COMPRESIÓN DEL PROBLEMA: RESULTADOS DE LA ENCUESTA A APLICADA A ESTUDIANTES**

La encuesta fue entregada a todos los estudiantes presentes de ambos cursos, pero fue respondida por 7 estudiantes de la FIQ y 10 de la FRSF ya que la misma no tenía características de obligatoria y tampoco lo indicó el docente a cargo. El análisis de los distintos ítems de la encuesta A, mostrado en el cuadro 4.2, fue el siguiente, para cada uno de los aspectos considerados:

##### **Ítem 1-** *“Califica el problema con el grado de dificultad”*

Frente a esta consigna la mayoría de los estudiantes encuestados en la FIQ caracterizó como difícil los problemas encarados en la clase. El resto lo consideró el grado de dificultad como fácil.

En la FRSF un alto porcentaje consideró que los problemas eran muy difíciles, un porcentaje menor difícil y el resto muy fácil

##### **Ítem 2-** *“Expresa en que radica a tu criterio la mayor dificultad en la resolución”*

---

A continuación se transcriben y destacan las expresiones más significativas de los alumnos, indicando entre paréntesis la variable y dimensión a la cual hacen referencia, siguiendo el criterio establecido en la tabla 4.2:

- **En relación con las respuestas de estudiantes de la FIQ-UNL:**

*e<sub>1</sub>: En el planteamiento inicial hay que tener mucha imaginación (P<sub>2</sub>) o haber resuelto una gran variedad de problemas especialmente para los exámenes (M<sub>1</sub>).*

*e<sub>2</sub>: Resulta complicado acoplar los conceptos teóricos abstractos al plano práctico (E<sub>2</sub>), además considero que no están asentadas las bases matemáticas (L<sub>1</sub>) necesarias como herramientas de resolución. (M<sub>1</sub>)*

*e<sub>3</sub>: La falta de tiempo (M<sub>1</sub>) para llevar rápidamente las fórmulas a la práctica (P<sub>2</sub>).*

*e<sub>4</sub>: Reemplazar con números las expresiones y obtener resultados (L<sub>1</sub>).*

*e<sub>5</sub>: No se pueden visualizar (P<sub>2</sub>) los problemas y la interpretación (E<sub>2</sub>) de los mismos.*

*e<sub>6</sub>: La mayor dificultad es saber como encarar (P<sub>2</sub>) los problemas.*

- **En relación con las respuestas de estudiantes de la FRSF-UTN:**

*e<sub>1</sub>: Los problemas de examen no guardan relación con lo desarrollado en clases (M<sub>1</sub>)*

*e<sub>2</sub>: El profesor no relaciona los contenidos (E<sub>2</sub>) de los problemas con la práctica profesional. (M<sub>2</sub>)*

*e<sub>3</sub>: Los problemas de examen son muy largos (P<sub>1</sub>)*

*e<sub>4</sub>: Se hacen pocos problemas tipo (M<sub>1</sub>) examen de campo eléctrico con distintas geometrías (E<sub>1</sub>)*

*e<sub>5</sub>: A veces son escasas las indicaciones (L<sub>2</sub>) y hay que suponer muchas cosas que pueden llevar a una mala interpretación. (E<sub>2</sub>)*

*e<sub>6</sub>: Faltan especificaciones (L<sub>2</sub>) y esto es más grave en los exámenes (M<sub>1</sub>).*

*e<sub>7</sub>: Están mal redactados (L<sub>2</sub>), no se entiende lo que quieren que hallemos, ponen términos (L<sub>1</sub>) o ejemplos de casos particulares que confunden (P<sub>2</sub>) y te hacen perder tiempo (M<sub>1</sub>).*

*e<sub>8</sub>: Se mezcla mucho en algunos tramos (M<sub>2</sub>)*

**Ítem 3-** (Hay una demanda específica sobre el enunciado de los problemas de la guía.) “¿Está correctamente redactado el enunciado? Si no fuera así, ¿qué frases o palabras cambiarías?”

A continuación se transcriben las expresiones (e) más significativas:

**- En relación con las respuestas de estudiantes de la FIO-UNL:**

*e<sub>1</sub>: Si está bien*

*e<sub>2</sub>: Faltan especificaciones y esto es más grave en los exámenes*

*e<sub>3</sub>: Los enunciados están correctamente redactados.*

*e<sub>4</sub>: Lo haría específico, pediría lo que quiero hallar.*

*e<sub>5</sub>: Se mezcla mucho en algunos tramos*

*e<sub>6</sub>: A veces son escasas las indicaciones y hay que suponer muchas cosas que pueden llevar a una mala interpretación*

**- En relación con las respuestas de estudiantes de la FRSF-UTN:**

*e<sub>1</sub>: No me resulta muy complicada la redacción del problema excepto en la parte en que si me hubiesen hecho esa pregunta (problema 3 inc.c) en el examen no la hubiese contestado.*

*e<sub>2</sub>: No encuentro dificultad en la redacción del problema*

*e<sub>3</sub>: No me resulta claro el enunciado del inciso .a problema 1*

*e<sub>4</sub>: Si más o menos, falta decir más detalle.*

---

*e<sub>5</sub>: Creo que los enunciados son claros pero hacer varias preguntas en una misma trae confusiones.*

*e<sub>6</sub>: A veces el enunciado es poco claro con respecto a sobre que se debe calcular.*

**Ítem 4-** *“Indica en orden de prioridades, cuáles de los siguientes aspectos consideras que influyen en el éxito para resolver problemas”.*

**- En relación con las prioridades que influyen en el éxito para resolver problemas, la tendencia predominante observada en las respuestas de los estudiantes de la FIQ-UNL es la siguiente:**

1º- *Dificultades en la comprensión del contenido teórico correspondiente al tema campo eléctrico*

2º- *Insuficiente tiempo personal destinado al estudio de la asignatura*

3º- *Dificultades asociadas a las estrategias a utilizar para resolver problemas en física y en matemática*

4º- *Dificultades asociadas con las herramientas matemáticas a aplicar*

5º- *Escaso tiempo asignado a la resolución de problemas en clase*

6º- *Dificultad para recordar ecuaciones a aplicar a la resolución.*

**- En relación con las respuestas de los estudiantes de la FRSF-UTN**

1º- *Dificultades en la comprensión del contenido teórico correspondiente al tema campo eléctrico*

2º- *Insuficiente tiempo personal destinado al estudio de la asignatura*

3º- *Escaso tiempo asignado a la resolución de problemas en clase*

4º- *Dificultades asociadas a las estrategias a utilizar para resolver problemas en física y en matemática*

5º- *Dificultades asociadas con las herramientas matemáticas a aplicar*

6º- *Dificultad para recordar ecuaciones a aplicar a la resolución.*

## 5- Comentarios y sugerencias

Las sugerencias de los alumnos (FIQ y FRSF) se transcriben a continuación, con la codificación correspondiente:

### - En relación con las respuestas de estudiantes de la FIQ-UNL:

*s<sub>1</sub>: "Dedicarle tiempo para hacer problemas de exámenes y hacer preguntas al alumno para llevar una clase participativa es la mejor solución" (M<sub>1</sub>)*

*s<sub>2</sub>: "La carga horaria elevada y el elemento tiempo de estudio de otras asignaturas que se cursan en paralelo a esta materia es la causa fundamental que impide un buen rendimiento en Física Eléctrica (M<sub>1</sub>)*

*s<sub>3</sub>: "Las clases teóricas son muy buenas, gracias a los ejemplos desarrollados al final de cada tema. Se necesitarían más horas de problemas, los ejercicios de práctica deberían ser del mismo nivel que los del parcial, los trabajos prácticos ayudan a visualizar la teoría pero resulta tedioso realizar los informes" (M<sub>2</sub>)*

*s<sub>4</sub>: "Que se confeccione un apunte resumido de teoría para poder seguir atentamente la clase sin perder tiempo en escribir" (M<sub>2</sub>)*

*s<sub>5</sub>: "En la teoría hay mucha gente y la clase no rinde" (M<sub>1</sub>)*

*s<sub>6</sub>: "No tengo sugerencias, salvo destacar y agradecer la importancia de la buena predisposición de los docentes" (M<sub>2</sub>)*

### - En relación con las respuestas de estudiantes de la FRSF-UTN

*s<sub>1</sub>: Los problemas de examen no deben ser de nivel superior al tratado en clase*

*s<sub>2</sub>: En las guías de problemas se deberían colocar debajo de cada problema su resultado numérico si este existe.*

---

*s<sub>3</sub>: Todos los problemas destinados a resolver en clase deberían ser corregidos en el pizarrón para que cuando el alumno decida estudiar sepa que los problemas están bien resueltos en su carpeta.*

*s<sub>4</sub>: Tratar de resolver más problemas en clases*

*s<sub>5</sub>: Explicar bien la fórmula*

*s<sub>6</sub>: Poco tiempo destinado a la resolución de problemas.*

### **Síntesis de resultados de la encuesta A para FIQ y FRSF**

El análisis del contenido de las respuestas muestra una elevada valorización de la dimensión metodológica y psicológica por parte de los alumnos, frente a las restantes. Los estudiantes dan más crédito a un modelo de transmisión-recepción que a la adquisición de conceptos en forma significativa. Valorizan tener mayor cantidad de clases y la resolución de problemas "tipo examen"; requieren disponer de mayor tiempo de estudio, fundamentalmente señalan la importancia en la incidencia de las dificultades de la componente centrada en el currículum, hecho que se puede interpretar que está potenciada por la impronta que los planes de estudio le imprimen a las carreras de Ingenierías.

En cuanto a la dimensión lingüística nuevamente se ve la relevancia que la herramienta matemática tiene en el estudiante y que motiva entre otras cosas la excesiva operatoria al resolver problemas sin antes pensar en una estrategia de resolución. Predomina el enfoque literal, más cercano al modelo de ensayo y error que consiste en la variación, aproximación y corrección aleatoria de respuesta hasta que surge la correcta (Ausubel y otros, 1991).

En cuanto a la dimensión epistemológica las mayores dificultades están en la comprensión del contenido teórico, en la formulación de supuestos e

hipótesis y en transformar la información contenida en los enunciados e integración de contenidos.

### **5.2.5. VALORACIÓN DE ACTIVIDADES EN LA CÁTEDRA: RESULTADOS A LA ENCUESTA B APLICADA A ESTUDIANTES**

La encuesta (cuadro 4.3) fue aplicada a los estudiantes en el contexto de una clase de resolución de problemas. Estuvo orientado a identificar tendencias y descubrir diferencias en el contexto de una clase de resolución de problemas en la valoración del alumno acerca de las actividades que desarrolla en el aula y su propia experiencia. La respondieron 10 alumnos de un total de 15 de una clase de resolución de problemas de la FIQ y 20 estudiantes de un total de 45 de la FRSF. Cabe consignar que la reducción en la cantidad de alumnos fue debida a que las clases no son obligatorias y fue tomada a los presentes en forma anónima y personal.

En la tabla 5.6 se presenta la distribución comparativa del grado de acuerdo de los estudiantes de la FIQ y de la FRSF a cada una de las proposiciones dadas, en frecuencias absolutas. Se ha destacado con el grisado oscuro los aspectos con las coincidencias más fuertes.

La tabla 5.6. muestra que tanto los estudiantes de la FIQ como de la FRSF mayoritariamente acuerdan en la importancia que su experiencia tiene para su aprendizaje, rechazando prácticamente la mitad de ellos que el aprendizaje resida en la memorización de la información. En opinión de los estudiantes tanto de la FIQ, como de la FRSF hay mayoritariamente acuerdo en que han aprendido a buscar información y a utilizarla para resolver problemas.

**Tabla 5.6.** Valoración de los estudiantes, en frecuencias absolutas, de las actividades (encuesta B, cuadro 4.3).

Proposición	Modalidad	dimensión	muy de acuerdo		acuerdo		nada de acuerdo	
			FIQ	FRSF	FIQ	FRSF	FIQ	FRSF
1- He aprendido a través de mi propia experiencia y no sólo de las explicaciones de los docentes o los libros	voluntad	psicológica	1	2	7	12	2	6
2- He podido participar aportando mis propias ideas	formal	psicológica	3	8	5	1	2	11
3- He llegado a la conclusión de que los conocimientos científicos son provisionales y pueden cambiar a lo largo del tiempo	formal	epistemológica	4	4	3	8	3	8
4- He aprendido a buscar información y a utilizarla para resolver problemas	literal	lingüística	4	5	3	10	3	5
5- He incorporado conocimiento que dudo utilizar.	estrategia cognitiva	psicológica	1	5	3	5	6	10
6- Las evaluaciones parciales o finales integraron temas vistos anteriormente	centrada currículo	metodológica	3	5	1	6	6	9
7- Ha aumentado mi interés por la asignatura a medida que avanzó el curso de Física Eléctrica.	voluntad	psicológica	2	3	5	10	3	7
8- El aprendizaje se ha centrado en la memorización de información	Estrategia cognitiva	psicológica	1	4	1	7	8	9
9-La presentación y organización de las actividades es la más adecuada	Teoría	Centrada currículo		1	5	10	5	9
	laboratorio	Centrada currículo	1	2	4	8	5	10
	Problemas	Centrada currículo	1	2	4	7	5	11
10- Pienso que los docentes dominan la materia que enseñan.	física	epistemológica	2	3	5	7	3	10
11- Pienso que los docentes aclaran las dudas que surgen en clases y en consulta.	Estrategia cognitivas	psicológica	2	7	7	9	1	4
12- Ha sido adecuada la relación docente alumno en las actividades desarrolladas.	Centrada docente	metodológica	5	5	5	4		11
13- Me ha facilitado las relaciones con compañeros	voluntad	psicológica	5	4	5	15		1
14- He aprendido a valorar las aportaciones de los demás	Estrategia cognitiva	psicológica	5	10	5	10		
15- Esta forma de aprender me ayuda a retener mejor los concepto	física	epistemológica	1	3	7	8	2	9

Sin embargo, son pocos los que expresan un fuerte acuerdo con cuestiones metodológicas, como ser: la integración de contenidos en las evaluaciones, la forma de organización de las actividades (teoría-laboratorio-problema) y la relación docente-alumno establecida en las clases. En este aspecto prácticamente la mitad de ambos grupos manifiestan desacuerdo por la forma en que se presentan y organizan las actividades de aula. Esto estaría sugiriendo que los alumnos tienen la posibilidad de "vivir" prácticas de aula diferentes en otras asignaturas de la carrera que les permite efectuar comparaciones y evaluarlas en función de sus procesos de aprendizaje. Esto también permitiría interpretar la tendencia hacia un bajo acuerdo sobre el interés despertado en ellos por la asignatura Física Eléctrica a medida en que avanzan la cursada.

Es importante resaltar que los estudiantes de ambas Facultades valoran en forma significativa las aportaciones de sus compañeros para su aprendizaje y la manera en que la forma de trabajo en la cátedra ha favorecido las relaciones con sus propios compañeros. Sin embargo, la participación con aporte de sus propias ideas ha tenido un acuerdo dicotómico entre los alumnos de la FRSF y una distribución difusa en los procedentes de la FIQ. Esto señala un aspecto importante a ser tenido en cuenta en las situaciones didácticas que se presentan en el aula para favorecer un aprendizaje significativo.

En relación con los aspectos epistemológicos en ambos grupos se encontró una tendencia baja de acuerdo en relación con la provisionalidad de los conocimientos científicos y sus posibilidades de cambios

Se observa una tendencia hacia el bajo acuerdo con el dominio de contenidos de los docentes por parte de los alumnos de la FRSF, no así entre los estudiantes de la FIQ. Esto podría deberse a la cantidad de alumnos (45) en el aula de la FRSF, esto no permite un trato más directo y personalizado como el que tienen los alumnos de la FIQ (15). En general, ambos grupos, muestran acuerdo con las posibilidades de aprendizaje

---

emergentes de las clases de consulta donde se conjuga, por un lado, el interés de los alumnos en exponer sus dudas particulares identificadas, que han surgido tanto de las clases como de un estudio individual y, por el otro, la posibilidad del docente de actuar sobre ellas de forma personalizada. En este sentido, la tendencia registrada guarda coherencia con lo señalado por Ausubel y otros (1991, p.503) "Las teorías y métodos de enseñanza válidos deben estar relacionados con la naturaleza del proceso de aprendizaje en el salón de clases y con los factores cognoscitivos, afectivos y sociales que lo influyen"

#### **5.2.6. APRENDIZAJE COLABORATIVO EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS: RESULTADOS DE LA ENCUESTA C APLICADA A LOS ESTUDIANTES**

En las actividades de resolución de problemas los alumnos se reunieron en grupos y resolvieron los problemas que el docente indicara. Esta encuesta tuvo el propósito de captar las posiciones del alumno cuando la tarea es en forma colaborativa con sus pares. La encuesta fue contestada, en la FIQ, por cinco grupos constituidos por tres alumnos cada uno. En las tablas 5.7 a 5.10 se muestran, para cada uno de los ítems, la distribución de frecuencias absolutas de las respuestas de los estudiantes a cada una de las proposiciones con las correspondientes variables y dimensiones. (Como se indicara en el apartado 4.4.1, se aplicó sólo al curso de la FIQ por eliminarse la clase equivalente en la FRSF por una mesa de examen extraordinaria.)

La tabla 5.7 muestra la distribución de las respuestas relacionadas con el ítem: *¿cómo acotaron el problema?* El sombreado resalta los mayores acuerdos registrados. Básicamente todos ellos aluden a la dimensión psicológica, hecho que evidencia claramente la importancia que reviste para el estudiante la comprensión del enunciado en esta etapa. En este

procesamiento el campo lingüístico es relevante dado que no sólo remite a interpretar datos sino a la necesidad de operar sobre el significado de los conceptos involucrados. Puede observarse, comparando las dos primeras proposiciones, que 6 alumnos acotan el problema después de leer la totalidad del contenido teórico requerido mientras se interpreta que 6 lo realizan posiblemente con simultaneidad o bien no terminan de acotarlo después de su lectura. Es relevante destacar que la mayoría prioriza la posibilidad de definir claramente el problema a partir de la discusión entre pares, si bien reconocen la incidencia parcial del docente en esta actividad. La mayoría reconoce que la forma de acotarlo remite a lo personal. En este sentido, habría en estas respuestas indicadores sobre la organización de los modelos mentales, en su carácter de representación interna como intermediarias de la comprensión, contruidos a partir de la lectura del enunciado de un problema: el reconocimiento del carácter idiosincrásico, no simple y sujeta a un revisión recursiva (que puede ser provocada por otros sujetos en la interacción discursiva).

**Tabla 5.7.** Distribución de frecuencias absolutas de respuestas asociadas con el ítem: *¿cómo acotaron el problema?* de la encuesta C (cuadro 4.4)

Proposición	Modalidad	Dimensión	Si	En alguna Medida	No
Antes de leer sobre el tema	literal estrategias cognitivas	lingüística psicológica	3	—	12
Después de leer sobre el tema	literal estrategias cognitivas	lingüística psicológica	6	6	3
Según nuestros intereses	voluntad	psicológica	9	3	3
Según lo indicaba el docente guía	literal	lingüística	5	9	1
Con facilidad	centrado en el currículo	metodológico	6	3	6
Discutiendo entre nosotros	estrategias cognitivas	psicológica	12	3	—

Las respuestas de los estudiantes al ítem: *estrategias de resolución* se presentan en la tabla 5.8. Se observa que la dimensión lingüística es básicamente la que obtiene mayor consenso, según se muestra con el sombreado más intenso. Dos aspectos se ponen de manifiesto: uno, es el semántico que acompaña a la revisión y/o reflexión sobre el significado atribuido al término literal; otro, es el sentido otorgado a la información que en los problemas observados es prioritariamente numérica.

**Tabla 5.8.** Distribución de frecuencias absolutas de respuestas asociadas con el ítem: *estrategias de resolución del problema* de la encuesta C (cuadro 4.4)

Proposición	Modalidad	Dimensión	Si	En alguna medida	No
Haciendo un plan de trabajo	Centrado en el docente	Metodológica	9	6	—
Estudiando sobre los contenidos específicos	Literal	Lingüística	15	—	—
Por prueba y error	Componente física	Epistemológica	9	—	6
Usando conocimientos previos de física	Componente formal	Epistemológica	12	2	1
Usando conocimientos previos de otras disciplinas	Componente formal	Epistemológica	9	6	—
Buscando información	Literal	Lingüística	15	—	—
Planteando hipótesis	Componente formal	Epistemológica	3	12	—
Seleccionando algunas variables a tener en cuenta	Componente formal	Epistemológica	6	6	3
Con esfuerzo	Voluntad	Psicológica	12	3	—
Con facilidad	Estrategias cognitivas	Psicológicas		3	12

La otra dimensión que cobra relevancia es la epistemológica al destacarse la necesidad de acceder a los conocimientos previos para la resolución de

problemas y la asociación en alguna medida en el momento de plantear hipótesis. Estos aspectos remiten a una interpretación ausubeliana del proceso que reconocen los propios estudiantes sobre los procedimientos ejecutados para la resolución de problemas. En la dimensión psicológica se pone de manifiesto la contraposición entre la demanda exigida al estudiante por la actividad: esfuerzo *versus* facilidad. Esto estaría en consonancia con lo mostrado en la tabla 5.7 en relación al lugar que otorgan los estudiantes a su compromiso voluntario para acotar el problema planteado en un enunciado.

Los aspectos respondidos por los estudiantes en referencia con el ítem: *resultados*, se presentan en la tabla 5.9.

**Tabla 5.9.** Distribución de frecuencias absolutas de respuestas asociadas con el ítem: *resultados* de la encuesta C (cuadro 4.4)

Proposición	Modalidad	Dimensión	Si	En alguna medida	No
Los confrontamos con las hipótesis hechas	Componente formal	Epistemológica	—	3	6
Nos permitieron formular conclusiones	Componente formal	Epistemológica	6	—	3
Son importantes para nosotros	Voluntad	Psicológica	6	3	—
Son importantes para otros	Estrategias cognitivas	Psicológica	—	9	—
Son definitivos	Voluntad	Psicológica	—	—	9
Pueden mejorarse y/o completarse	Estrategias cognitivas	Psicológica	9	—	—

La dimensión psicológica cobra mayor significancia, como se destaca con el sombreado más intenso en la tabla 5.9, señalando que se reconocen que los

resultados no son definitivos, pueden mejorarse y/o completarse. En este sentido, esto estaría sugiriendo que los alumnos reconocen que, como parte del proceso de resolución, se producen modificaciones en sus modelos mentales por una revisión recursiva y que la solución surge a partir de un modelo que se considera plausible. Pero se puede avanzar en ese proceso. También acuerdan en que los resultados son, en alguna medida, importantes para otros. Se destaca que se atribuye escasa importancia a los resultados confrontándolos con las hipótesis hechas. Esto estaría sugiriendo que los docentes, en general, no promueven actividades para revisar recursivamente los posibles modelos mentales organizados por los estudiantes a fin de cuestionar, reformular o validar sus representaciones internas, explicitando sus supuestos de base.

En la tabla 5.10 se detallan las respuestas recogidas en el ítem: *dificultades*.

**Tabla 5.10.** Distribución de frecuencias absolutas de respuestas asociadas con el ítem: *dificultades* de la encuesta C (cuadro 4.4)

Proposición	Modalidad	Dimensión	SI	En alguna medida	No
La falta de información	Literal	Lingüística	6	6	3
La falta de ayuda y/o guía del docente	Centrada en el docente	Metodológica	3	6	6
La falta de organización del grupo	centrada en el docente	metodológica	—	3	12
La falta de organización de la cátedra	Centrada en el docente	Metodológica	—	12	3
La falta de interés en el trabajo	Estrategias cognitiva	Psicológica	—	3	12
La falta de tiempo	Estrategias cognitivas	Psicológica	6	6	3
La falta de bibliografía	Literal	Lingüística	3	—	9
La falta de conocimientos previos	Componente formal	Epistemológica	9	3	3
La falta de entrenamiento en este tipo de actividades	Estrategias cognitivas	Psicológica	12	3	—

Las mayores dificultades están centradas en la falta de conocimientos previos y la falta de entrenamiento en las actividades de resolución de problemas. También involucran en una forma más distribuida la incidencia de la falta de tiempo y de información. Los estudiantes rechazan fuertemente cuestiones vinculadas con su interés y su trabajo grupal, pero señalan que las dificultades en alguna medida involucran a la cátedra. Esto último estaría denotando que consideran que la enseñanza de la resolución de problemas supone una complejidad como actividad en la que se entrelazan aspectos conceptuales y procesos cognitivos.

#### **5.2.7. ANÁLISIS DE LAS ENTREVISTAS A DOCENTES DE FÍSICA ELÉCTRICA**

La entrevista se tomó como un proceso de carácter pragmático y comunicativo para obtener información sobre la manera en que los docentes y alumnos actúan y reconstruyen el sistema de representaciones mentales en sus prácticas habituales en el aula.

Una síntesis de los rasgos comunes emergentes de las entrevistas realizadas a los dos docentes de Física Eléctrica, se presenta en la tabla 5.11, organizada respondiendo a las variables y dimensiones de interés que se vienen analizando en esta fase del trabajo. Los docentes entrevistados respondieron las cuestiones planteadas en la entrevista y su acuerdo fue total, por tal motivo se realizó una única tabla.

Puede observarse que los docentes explicitaron acuerdos en que las dificultades de los alumnos para el aprendizaje del concepto de campo eléctrico radican tanto en el análisis de los fenómenos físicos como en el planteo del formalismo matemático específico requerido: el análisis vectorial. La identificación de la geometría del problema y cuestiones asociadas con el empleo de sistemas de referencia muestra la importancia que se atribuye a la construcción del espacio en su tridimensionalidad. Sin embargo, en las clases observadas estas consideraciones no se

evidenciaron como prioritarias, denotando que la componente centrada en el currículo prevaleció sobre la centrada en el docente, en el momento de tener que adecuar las secuencias didácticas al tiempo destinado a la temática en el cronograma de la cátedra. Como se discutirá en el capítulo 6 la propuesta didáctica abordará estas cuestiones que los docentes consideran que influyen en la comprensión de los estudiantes cuando se enfrentan a actividades en las clases de teoría, resolución de problemas y trabajos prácticos para la construcción del concepto de campo eléctrico.

**Tabla 5.11.** Rasgos comunes identificados en las entrevistas a los docentes de Física Eléctrica

contenido	Modalidad	dimensión	valoración
Discusión de los fenómenos	Componente física	Epistemológica	Analizar los fenómenos físicos
Formas del campo, líneas de fuerza,	Literal	Lingüística	Enfatizar análisis vectorial
Ubicación del campo respecto a la superficie	Componente física	Epistemológica	Interpretar el fenómeno en el espacio
Discusión de leyes	Literal	Lingüística	Introducir el problema en un contexto problemático
Expresiones del campo eléctrico	Componente formal	Epistemológica	Interpretar las relaciones matemáticas
Sistema de referencia y control de unidades en el resultado	Literal Numérica	Lingüística	Enfatizar los sistemas de referencia y de coordenadas
Planteo de situaciones problemáticas	Componente física	Epistemológica	Modelizar el sistema físico estudiado

### 5.2.8. ENTREVISTA A DOCENTES DEL CICLO SUPERIOR

Las entrevistas a dos docentes del ciclo superior se centraron en los conocimientos que ellos consideran básicos para el desarrollo de los contenidos del ciclo superior. Ellos manifestaron, además, un conjunto de

requisitos que consideran indispensables según se detalla en la tabla 5.12. También se señalan aspectos relativos a las actitudes y procedimientos básicos que consideran significativos para el desarrollo profesional.

**Tabla 5.12.** Rasgos comunes identificados en las entrevistas a los docentes del ciclo superior

Contenido	Modalidad	Dimensión	Valoración
Revisión bibliográfica crítica y profunda	Literal	Lingüística	Importancia de la actualización bibliográfica
Predisposición en tiempo y esfuerzo de los docentes	Centrada en el docente	Metodológica	Docentes con alta motivación para la enseñanza
Motivación importante de los alumnos	Voluntad	Psicológica	Alumnos dedicados y comprometidos con la profesión
Mostrar la aplicación y/o el objetivo	Componente formal	Epistemológica	Justificar el porqué y el para qué
Trabajar en grupos	Centrada en el currículo	Metodológica	Valorizar la tarea grupal
Enfatizar la formación de criterios	Centrada en el docente	Metodológica	Independencia de criterios
Diseñar dispositivos y procesos	Componente formal	Epistemológica	Aplicación de conocimientos

Los docentes del ciclo superior acordaron como relevante la importancia de la actualización bibliográfica sí como mostrar la aplicación y el objetivo de los procesos industriales, valorizan fuertemente el pensamiento crítico y la independencia de criterio de los alumnos. También consideraron de gran significación el trabajo en grupo y la motivación del estudiante para dar solución a las situaciones planteadas.

La diferencia entre las manifestaciones en las entrevistas a docentes de la asignatura Física Eléctrica y profesores del ciclo superior difieren en los objetivos que unos y otros le otorgan a la resolución de problemas. Los primeros, tienen una visión de problema como obstáculo para el alumno y

---

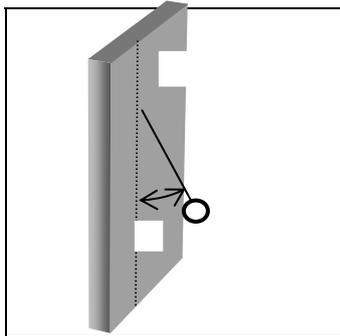
enfatan la importancia en la necesidad de hacer consciente y explícito cuál es el sistema bajo estudio y modelarlo. Los segundos, tienen un panorama más amplio ya que consideran que el ingeniero aplica el conocimiento para diseñar y desarrollar dispositivos, estructuras y procesos. Si bien se registran diferencias, se entiende que estas dos posiciones son complementarias ya que cuanto mejor se comprendan los principios fundamentales, la respuesta dada a una situación será más amplia y más precisa. Con estos elementos preliminares de análisis, los supuestos de la tesis se dirigieron a la importancia asignada por los docentes y los estudiantes a la resolución de problemas, haciendo recaer el foco de la investigación fundamentalmente en el análisis de los problemas resueltos por los alumnos en los exámenes.

### **5.3. FASE II: ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE LOS ESTUDIANTES EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE CAMPO ELÉCTRICO**

La investigación desarrollada en esta etapa respondió, como se indicara en el apartado 4.4.2, a un diseño longitudinal que tiene la ventaja que proporciona información sobre cómo las variables y sus relaciones evolucionan a través del tiempo. En particular se aplicó un diseño longitudinal de tendencia, analizando los cambios a través del tiempo en subpoblaciones, debido a que en cada momento se mide una muestra diferente aunque equivalente. El análisis consistió en procesar la resolución de los problemas (Ver Anexo II) realizados por alumnos en el período académico 2007 y los enunciados de los mismos según las categorías descritas en las tablas 4.2 y 4.3. Se eligieron subpoblaciones de 10 alumnos cada una de una muestra de 100 (50 FRSF-UTN, 50 FIQ-UNL) y se procesó la información con el paquete estadístico SPSS 10.0 para Windows. Se muestra en la Fig. 5.8, a modo de ejemplo, aspectos del análisis

efectuado a la resolución efectuada por un alumno de las situaciones presentadas en el apartado 4.4.2.

- A) Explique y explicita la ley de Gauss para distribuciones discretas y continuas de cargas
- B) Una placa conductora muy grande con una densidad de carga  $\sigma = 2.10^{-7} \text{ C/m}^2$  genera un campo  $E$ . Si colocamos una carga pequeña ( $q$ ) de  $3.10^{-9} \text{ C}$  cuya masa
- C) es 5 g que cuelga de un hilo de 20cm de largo según muestra la figura



- 1- Realizar un diagrama de cuerpo libre de la carga explicando que le sucede si el hilo que la sostiene se corta
- 2- Determinar el valor y magnitud del campo eléctrico en la posición donde se halla la carga, en el interior de la placa y sobre la placa
- 3- Calcular la diferencia de potencial entre la carga y la placa.

**Formal:** respuestas que utilizan sólo fórmulas, revelan una tentativa de identificar el problema con una ley física. No tienen poder explicativo por cuanto, por ejemplo, no se muestra ni hace referencia literal a la superficie gaussiana o la noción de flujo de campo eléctrico.

$\Phi_E = \oint E \cdot ds = \frac{q}{\epsilon_0}$

$\Phi_E = \oint E \cdot ds = \frac{q}{\epsilon_0}$

DISTRIBUCION CONTINUA:

$\Phi_E = \oint E \cdot d\vec{A} \Rightarrow \Phi_i = \frac{\Delta q_i}{\epsilon_0}$

$\Phi_E = \lim_{\Delta q_i \rightarrow 0} \oint E \cdot d\vec{A} \Rightarrow \Phi_E = \int \frac{dq}{\epsilon_0}$

$V_b - V_a = \frac{W_{ab}}{q_0}$  [Volt]: es el trabajo hecho un campo eléctrico

$E = \frac{q}{\epsilon_0 A}$  [Formal]: es una constante de proporcionalidad entre el campo de un conductor y la d.f. de potencial del mismo.  $\sigma = \frac{q}{A}$

$E = \frac{q}{\epsilon_0 A} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

$F_e = E \cdot q$   
 $F_e = 11300 \frac{N}{C} \cdot 3 \cdot 10^{-9} C = 3,39 \times 10^{-5} N$

**Conocimiento físico**

**Puntual:** respuestas que tratan resultados obtenidos para una situación específica como si fueran resultados generales. No tienen poder explicativo

**Información seleccionada**

- Datos presente en el enunciado
- Pictórica
- Simbólica
- Numérico
- E-F

Perfil Maxwelliano

Figura 5.8. Análisis de la respuesta de un estudiante a las cuestiones mostradas

---

### 5.3.1 Resultados de las medidas de correlación y pruebas de significación

En el caso no paramétrico<sup>8</sup> el Coeficiente de Contingencia (CC) es una medida del grado de asociación de dos conjuntos de atributos y es particularmente útil, como en este caso, cuando la información acerca de las modalidades consiste en una serie no ordenada de frecuencias, es decir, corresponden a datos nominales. En la tabla 1 del Anexo III se sintetiza la información correspondiente a los CC para todos los cruces posibles de las categorías utilizadas para el estudio de la comprensión del enunciado (tabla 4.3) que efectuaron los estudiantes al resolver los problemas de examen y el nivel de significancia que resulta de comparar el CC con la hipótesis de nulidad (indicado por \*\*).

La misma permite reconocer que el 87% de los estudiantes trabaja a un nivel de aplicabilidad y de accesibilidad del dato proporcionado en el enunciado. También se observa que en un 80% aparece la aplicabilidad del dato asociado a un nivel de presentación de la información caracterizada por su identidad estructural. De manera que se puede inferir la alta dependencia del dato textual del enunciado.

El estudio sobre la posible relación entre las categorías *Modelo subyacente* (MS) y *Organización de la información* (OI) (tabla 3 del Anexo III) muestra que la interpretación del dato por los estudiante en un 87,5% está dada por la aplicabilidad al mismo desde el enunciado, sin una valorización previa de la información cuando actúa en un nivel descriptivo centrado en la representación gráfica. El 80,4% relaciona la información en forma fundada con una modalidad de accesibilidad proporcionado por los datos cuando la información se organiza apelando a referencias y el 71,4% presenta la información caracterizada por un atributo o identidad estructural comprendiéndola en forma completa recurriendo a un proceso de

---

<sup>8</sup>Corresponde a la situación en el cual los métodos utilizados son a libre distribución y escala nominal

organización analítica, realizando una aplicación de la información caracterizada por operadores semánticos con identidad estructural.

La tabla 4 (Anexo III) muestra que el 58% de los estudiantes interpreta los datos desde un criterio de organización de la información con modalidad simbólica, es decir, se limita a explicitar el dato sin una reelaboración del mismo. El 50% organiza los datos a nivel pictórico, mientras el 60% que alcanzó un nivel de organización pictórico-simbólico, logra relacionar datos e hipótesis revalorizando la información brindada en el enunciado.

La tabla 5 (Anexo III) indica que el 50% que formula hipótesis lo hace con un criterio de comprensión del enunciado integrando los conceptos. Mientras que el 90,5 % se limita a explicitar los datos del enunciado, lo hace a través de la accesibilidad que proporcionan los datos. El 80% que relaciona los datos con hipótesis comprende el enunciado en su forma completa.

De lo anterior se puede concluir que la valorización de la accesibilidad del dato textual del enunciado sin una discusión y análisis previo es un fuerte determinante para la organización de la resolución por parte del estudiante. Este hecho sugiere la validación de la hipótesis  $H_{T2}$  formulada en el capítulo 4: *La forma en que se presenta el dato condiciona el tipo de resolución.*

### **5.3.2. Características de los procesos de resolución analizados**

Utilizando las categorías, modalidades e indicadores obtenidos como resultado de la Fase I (tabla 4.4), se procedió a analizar las resoluciones de los estudiantes a fin de caracterizar el perfil conceptual adoptado y su articulación de acuerdo con las estrategias utilizadas. En la tabla 6 del Anexo III se presentan los CC que señalan el grado de relación entre las categorías utilizadas.

---

Para la categoría *perfil conceptual*, los CC más significativos corresponden a los cruces con las categorías *Información seleccionada* y *Vinculación de contenidos*, con valores 0,593 y 0,645, respectivamente. Sin embargo, se registra una significancia menor a  $10^{-3}$  (altamente significativa) para los cruces con las categorías: *Incidencia de los datos*, *Simbolización* y *Organización de la información*.

Este resultado otorga sustento a la hipótesis  $H_{T1}$ : *El perfil conceptual depende del modo en que se presentan los datos en el enunciado de los problemas*.

El perfil maxwelliano tiene mayor carga de procesamiento abstracto, mientras el coulombiano está basado en conceptos que caracterizan observables físicos. Esto implicaría la influencia que sobre el proceso de resolución tienen las cuestiones con bases teóricas y perceptivas, respectivamente, para los perfiles citados. En la Tabla 6 (Anexo III) se muestran los CC de alta significatividad que otorgarían sustento a la hipótesis  $H_{T1}$ .

La tabla 8 (Anexo III) muestra que un 89% de los estudiantes que evidencia la organización de una estructura conceptual para dar sentido a los datos de los problemas, habría evolucionado hacia el perfil maxwelliano como logro de la construcción de conceptos esperable a través del proceso de enseñanza-aprendizaje en la asignatura. El 64% mantienen un conocimiento físico anclado a un perfil coulombiano y muy ligado a los datos que aparecen explícitamente en el planteo de las situaciones problemáticas.

Otro resultado importante es la *vinculación de contenidos* en función del *Perfil conceptual*: el 88,9 % que adquirió el perfil maxwelliano vincula los contenidos reconociendo atributos esenciales del concepto de *campo eléctrico E* (tabla 9 del Anexo III). Se puede inferir que no sólo la presentación de los datos sino la vinculación de contenidos configuran tanto el conocimiento físico como la estructura conceptual subyacente en los

datos. La tabla 9 también muestra que aquellos que están anclados en el perfil coulombiano vinculan los contenidos operacionalmente.

Como se muestra en la tabla 10 (Anexo III), el 41% que alcanzó el perfil maxwelliano, es capaz de procesar indistintamente la información provista tanto en forma simbólica como pictórica señalando la capacidad interpretativa del perfil. Los que todavía no superaron el perfil coulombiano (62%) procesan la información en forma más elemental, básicamente mediante una imagen o dibujo con baja carga conceptual.

El planteo de hipótesis que realizan los estudiantes está muy relacionado con la identificación de las interacciones E-F y la vinculación de contenidos en forma operacional o conceptual según el CC hallado (Tabla 11 del Anexo III). Mayoritariamente los estudiantes plantean las hipótesis en forma descriptiva (78%) vinculando los contenidos operacionalmente. Mientras que aquellos que vinculan conceptualmente los contenidos (73%) lo hacen en forma analítica, es decir, han valorado el planteo de hipótesis.

El proceso de resolución adoptado se relaciona con la vinculación de contenidos del concepto de campo **E**, dando lugar a que el dato reelaborado por el alumno esté condicionando el tipo de resolución (tabla 12 del Anexo III).

El análisis de los datos (registrados en las tablas 10 a 12- Anexo III) darían también sustento a la hipótesis  $H_{T2}$ : *El dato condiciona el tipo de resolución.*

La construcción del concepto de campo **E** a través de la interacción **E-F** y la caracterización vectorial de **E** (tabla 13 del Anexo III) se relacionan en forma articulada, 47% y 58% respectivamente, cuando se registran los conocimientos físicos presentados en la resolución de problemas. Si bien los datos muestran que ha bajado el nivel de asociación su porcentaje de significatividad se mantiene alto, dando la dependencia del concepto trabajado con su formalización matemática.

---

Se desprende de la tabla 14 (Anexo III) que la Identificación del concepto de campo **E**, caracterizado por la interacción **E-F**, está estrechamente relacionado con el proceso de resolución centrado en un enfoque esencialmente numérico (42%).

Los resultados presentados (tablas 8 a 14 – Anexo III) darían sustento a la hipótesis **H<sub>T3</sub>**: *El concepto de campo sólo es una construcción matemática.*

#### **5.4. SÍNTESIS DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS DE LA ETAPA I**

##### **FASE I:**

##### **⇒ DE LAS CLASES DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS OBSERVADAS**

- El concepto de campo eléctrico **E** se organiza a través de su “anclaje”, en el sentido ausubeliano, sobre el concepto subsumidor de fuerza **F**.
- La ausencia de un contexto problemático vinculado con la ingeniería impide un análisis integrador, limitándose la discusión del problema a una acotada área disciplinar.
- Escaso análisis de los sistemas físicos involucrados en el problema por parte de los alumnos procediéndose a una inmediata resolución algorítmica.
- La utilización de modelos mentales proposicionales susceptibles de ser verbalizados con diferente nivel de precisión y alcance.
- La ausencia de procesos de resignificación de los conceptos básicos involucrados en los problemas trabajados en la clase, tales como: campo eléctrico **E**, líneas de campo y otros asociados -potencial, energía potencial.

### ⇒ DE LA CLASE DE LABORATORIO OBSERVADA Y EL ANÁLISIS DE LOS INFORMES DEL TRABAJO PRÁCTICO

- Las experiencias son analizadas desde un punto de vista fenomenológico. Los textos de los alumnos contienen una fuerte carga observacional con reducidos aportes explicativos que permitan inferir con mayor especificidad los posibles modelos mentales construidos. Sin embargo, se han encontrado algunas evidencias de modelos mentales proposicionales o cinemáticos con las cargas como elementos constitutivos con la posibilidad de transferirse y redistribuirse.
- Los estudiantes no aprecian la importancia del laboratorio para la construcción de conocimientos.

### ⇒ DE LOS FACTORES QUE DIFICULTAN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

#### DE LA ENCUESTA APLICADA A LOS DOCENTES

- Los mayores consensos se registran sobre aquellas proposiciones que aluden a debilidades en las estrategias cognitivas requeridas para resolver problemas.

#### DE LA ENCUESTA APLICADA A ESTUDIANTES

- Los estudiantes dan más crédito a un modelo de transmisión-recepción que a la adquisición de conceptos en forma significativa. Valorizan tener mayor cantidad de clases y la resolución de problemas "tipo examen"; requieren disponer de mayor tiempo de estudio.
- La relevancia de la herramienta matemática en el estudiante, motiva entre otras cosas la excesiva operatoria al resolver problemas sin antes pensar en una estrategia de resolución.

- 
- las mayores dificultades están en la comprensión del contenido teórico, en la formulación de supuestos e hipótesis y en transformar la información contenida en los enunciados e integración de contenidos.

#### **DE LAS ENTREVISTAS A DOCENTES DE FÍSICA ELÉCTRICA**

- Las dificultades de los alumnos para el aprendizaje del concepto de campo eléctrico radica tanto en el análisis de los fenómenos físicos como en el planteo del formalismo matemático específico requerido: el análisis vectorial.
- La identificación de la geometría del problema y cuestiones asociadas con el empleo de sistemas de referencia muestra la importancia que se atribuye a la construcción del espacio.

#### **DE LA ENTREVISTA A DOCENTES DEL CICLO SUPERIOR**

- La importancia de la aplicación y el objetivo de los procesos industriales, valorizan fuertemente el pensamiento crítico y la independencia de criterio de los alumnos.
- El trabajo en grupo y la motivación del estudiante para dar solución a las situaciones planteadas.

#### **FASE II:**

##### **⇨ DEL ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE LOS ESTUDIANTES EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE CAMPO ELÉCTRICO**

En esta fase se corroboraron las hipótesis planteadas, se considera que el concepto de campo eléctrico  $E$ , se organiza inicialmente como un concepto personal, requiere explicitar de manera sintética cuáles son las ideas y relaciones que se integran o asocian con el mismo. La forma en que los estudiantes piensan se refleja en el uso del lenguaje, en su carácter de representación externa. Así, a partir del mismo se podría inferir un posible patrón de la organización que ellos conforman del concepto de campo

eléctrico, abarcando desde el de carga eléctrica hasta el de fuerza, potencial, energía, etc. Identificadas algunas manifestaciones del obstáculo, se ha de hacer el movimiento epistemológico en sentido inverso, esto es, situar una experiencia en un juego múltiple de razones, ejercer sobre ella una crítica coherente a la luz de los conocimientos detentados y enseñar contra el impulso natural buscando la variación. Con este esfuerzo surgirán los problemas, no sólo uno sino varios e interrelacionados. Ellos pueden surgir de la observación pero también pueden ser planteados para conducir a la observación como posibilidad en la que es conveniente caminar progresivamente.

Sintetizando el estudio estadístico efectuado permite establecer que:

• alta dependencia del dato textual del enunciado	➡	accesibilidad del dato cuando es descriptivo o referencial
• valorización de la accesibilidad del dato textual del enunciado	➡	sin una discusión y análisis previo
• alcance de nivel analítico en las resoluciones	➡	relacionan datos e hipótesis, con un revalorización de la información brindada en el enunciado.
• influencia sobre el proceso de resolución	➡	cuestiones con bases teóricas y perceptivas
• vinculación de datos y contenidos	➡	configuran tanto el conocimiento como la estructura conceptual

Las dificultades más comunes se manifiestan en hechos tales como:

- La ausencia de diferenciación clara entre fuerza y campo eléctrico;
- La omisión de toda consideración del medio material en la transmisión de la interacción eléctrica;

- 
- La falta de diferenciación entre campos vectoriales y campos escalares.
  - La debilidad de una presentación puramente formal de la teoría que no favorece la construcción de modelos sobre el concepto de campo eléctrico.

En la *Etapa I* de esta tesis, la Teoría del Aprendizaje Significativo conjuntamente con la Teoría de los Modelos Mentales fueron referentes teóricos que ayudaron a comprender como los estudiantes construyen el concepto de campo eléctrico **E**.

La Teoría del Aprendizaje Significativo tiene importantes implicaciones psicológicas y pedagógicas para esta tesis, ya que considera que el aprendizaje se construye de manera evolutiva, porque da cuenta de lo que ocurre en el aula. La Teoría de los Modelos Mentales, como apoyo representacional, dio cuenta de cómo se produce la asimilación y la retención del conocimiento.

El conocimiento de estos resultados preliminares dieron las bases teórico-metodológicas para plantear una propuesta de intervención didáctica e indagación evaluativa.

## **CAPÍTULO 6**

### **SEGUNDA ETAPA**

#### **PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DIDÁCTICA: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN E INDAGACIÓN EVALUATIVA**

##### **6.1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta la propuesta didáctica que se implementara en la ETAPA II en un curso de Física Eléctrica de la FRSF-UTN para la enseñanza de la Unidad Campo Eléctrico, durante el primer cuatrimestre del 2008. Dicho diseño se realizó tomando como referencia, por un lado, los resultados obtenidos en la primera etapa de la investigación y que fueron presentados en el capítulo 5 y, por el otro, los aportes emergentes del marco teórico desarrollado en el capítulo 3, en particular, la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud (1990).

El curso fue seleccionado por el interés y la disposición inmediata del profesor para implementar la propuesta en el aula. Para ello la tesista inició una actividad de capacitación previa del docente a cargo del curso y acordó su participación como observadora en el aula durante todas las clases en las que se desarrolló la unidad temática. En forma permanente se mantuvieron reuniones con el docente a fin de realizar ajustes, discutir las situaciones de

---

aula y trabajar junto a él en un proceso de evaluación sustentado en la idea de comprensión del proceso educativo.

También se analizan los materiales curriculares elaborados para su efectiva implementación. Se describe, además, la aplicación que se realizara de la misma y el estudio evaluativo de la intervención didáctica centrado en la comprensión de los estudiantes del concepto de campo eléctrico.

La intervención didáctica se evaluó a través de distintas estrategias: la comprensión lectora de los estudiantes, la resolución de cuestiones problemáticas y los informes elaborados sobre el trabajo práctico utilizando software de simulación. En el estudio se analizó el desempeño de los estudiantes en cuatro momentos diferentes. El primero estuvo centrado en el análisis de los conceptos previos al aprendizaje del concepto de campo eléctrico sobre la base de la comprensión de un texto extraído de un libro destinado al nivel universitario básico. Los tres restantes estuvieron orientados a indagar el proceso de comprensión del concepto de campo eléctrico a través del desempeño en diferentes tareas: modelado de situaciones problemáticas, de cuestiones problemáticas vinculadas a campo eléctrico y de un trabajo práctico de simulación centrado en el análisis del campo eléctrico generado por cargas puntuales y de las estrategias con que se aborda la resolución, tratando de reconocer los invariantes operatorios que se utilizan.

La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud ofrece un marco explicativo para analizar el aprendizaje en los estudiantes. En coherencia con lo señalado en el capítulo 3, se implementaron secuencias didácticas en las que se le propone al estudiante analizar distintas situaciones, teniendo en consideración que hay dos clases de ellas: una, para las que el estudiante dispone de esquemas para su tratamiento inmediato y la otra, ante las cuales no cuenta con las habilidades necesarias para abordarlas. Ambas situaciones son importantes, pero no funcionan de la misma manera. En las clases donde se trabajan sobre el primer tipo de situaciones

se observan conductas automatizadas y organizadas por un esquema único, en las segundas aparecen varios esquemas que pueden entrar en competencia y para llegar a un resultado deben ser acomodados, separados y recombinados (Vergnaud, 1990).

## **6.2. FUNDAMENTOS Y CRITERIOS DE DISEÑO DE LA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DIDÁCTICA**

Como se ha señalado en los capítulos 1 y 3, numerosos investigadores en ciencias: Escudero y Jaime (2003), Furió y Guisasola (2001), Greca y Moreira (2002), Guisasola, Ceberio y Zubimendi (2003), Llancanqueo, Caballero y Moreira (2003), Moreira y Greca (2003), Pocoví y Hoyos (2004), Solano, Gil, Pérez y Suero (2002), entre otros, han destacado como dificultades más evidentes en la conceptualización de campo eléctrico a: los deficientes conocimientos e interpretaciones del álgebra vectorial y de las representaciones gráficas y simbólicas, así como a las fijaciones funcionales derivadas de informaciones recibidas a lo largo de la instrucción. En varias de las investigaciones mencionadas se resalta que los estudiantes recurren preferentemente al perfil conceptual (Mortimer, 1995) coulombiano en sus interpretaciones, situación que fue también reconocida en el estudio preliminar de esta tesis.

Por otra parte, el reiterado fracaso de los estudiantes en los exámenes parciales del tema Electrostática observado en años previos en la FIQ-UNL y la UTN-FRSF, se constituye en un factor de deserción o, al menos, de repitencia de la asignatura. Esto decidió al profesor de la cátedra Física Eléctrica de la FRSF-UTN a participar en la implementación de estrategias de enseñanza que elevaran el bajo nivel de conceptualización que se venía observando con una marcada persistencia.

---

Tomando como referencia la teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, puede suponerse que ese bajo nivel de conceptualización<sup>9</sup> que se identifica explícitamente en las actuaciones de los estudiantes está relacionado con las debilidades en el uso de los invariantes operatorios físicos frente a los matemáticos en la explicación de las situaciones en análisis.

La propuesta de intervención didáctica se desarrolló tomando como base los siguientes presupuestos:

- La presentación de situaciones físicas bajo distintos formatos (textos expositivos, enunciados de problemas de lápiz y papel y simulaciones digitales) enfrenta al estudiante ante diferentes condiciones en las que activan y ponen en acción los invariantes operatorios disponibles para dar significado a sus comprensiones.
- Si bien se articulan invariantes operatorios tanto de contexto físico como matemático para la representación y comprensión de tales situaciones, la manera en que se ponen en juego frente a las distintas actividades no es simétrica.
- El lenguaje tiene una función significativa en la activación de los invariantes operatorios que se manifiestan en el razonamiento y en los procesos inferenciales desarrollados por los estudiantes.
- La resolución de problemas constituye una actividad que provee información significativa para reconocer la conceptualización alcanzada por los estudiantes, permitiendo identificar cómo la misma les permite anticipar efectos y fines, planificar vías de solución y fundamentar sus acciones.

La propuesta de intervención didáctica se organizó con los siguientes objetivos:

---

<sup>9</sup> Es entendida como la localización y el estudio de continuidades y ruptura entre conocimientos desde el punto de vista de su contenido conceptual (Vergnaud, 1990).

- Orientar el proceso de aprendizaje de los estudiantes promoviendo el análisis de situaciones físicas con configuraciones de cargas de complejidad creciente, de modo de requerir diferentes estructuras de invariantes operatorios para su interpretación y explicación. (Se atiende a las consideraciones de Vergnaud (1990) acerca de la importancia de las diferentes situaciones en la construcción de un campo conceptual).
- Posibilitar la reflexión sobre las situaciones propuestas que dé sentido a su estudio. (Se busca la generación de condiciones que permitan llevar a los estudiantes a interrogarse sobre determinadas relaciones complejas).
- Orientar al análisis cualitativo sobre el problema a tratar, ayudando a plantear variables y a enunciar hipótesis fundamentadas en los conocimientos disponibles. (Se busca que el estudiante reconozca y explicita los significantes que emplea).
- Promover el reconocimiento de las propiedades básicas: flujo y circulación del campo  $E$ , como un conocimiento-en-acción cuyo significado físico va más allá de cuestiones matemáticas netas. (Se incentiva la revisión de los esquemas utilizados, considerando los posibles invariantes operatorios involucrados).
- Generar instancias de discusión entre los estudiantes para favorecer la reelaboración y la reestructuración de los conceptos que intervienen en las nociones de campo eléctrico  $E$ . (Se promueve la comparación de los esquemas utilizados, revisando las conceptualizaciones que los sustentan).
- Plantear estrategias que favorezcan la autorregulación del trabajo por los alumnos. (Las formulaciones de las situaciones problemáticas y los enunciados de problemas se exponen de modo que el estudiante vaya construyendo los conceptos con mayor nivel de abstracción, apoyándose unos en otros a través del lenguaje.)

- 
- Considerar las posibles perspectivas de los nuevos conocimientos elaborados. (Se busca que el estudiante se replantee el estudio con otros niveles de complejidad, con otros problemas derivados, etc.).
  - Plantear estrategias para la integración de los nuevos conocimientos en un cuerpo coherente de conocimientos y las posibles aplicaciones a otros campos de conocimiento. (Se busca fortalecer la distinción entre la forma operatoria del conocimiento que permite actuar en situación y la forma predictiva del conocimiento que enuncia los objetos de pensamiento, sus propiedades, sus relaciones y sus transformaciones).

### **6.2.1. ORGANIZACIÓN DE LA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DIDÁCTICA**

La propuesta, acordada y consensuada con el profesor del curso, se organizó siguiendo, para el desarrollo de cada clase (teórica, de resolución de problemas y de trabajos prácticos), los momentos que se describen a continuación:

- **De iniciación** Destinado a la motivación de los estudiantes y, al mismo tiempo, a que ellos activen los conocimientos previos necesarios para que actúen como subsumidores de los nuevos conceptos (Ausubel, 1968).
- **De desarrollo.** Comprende una secuencia de actividades seleccionadas para que los estudiantes trabajen en forma progresiva sobre diferentes tipos de situaciones, con la introducción de aspectos que atienden a dar significado a los nuevos contenidos y su formalización.
- **De síntesis y autoevaluación.** Estas actividades tuvieron por finalidad que los estudiantes observen, analicen y reflexionen acerca de su aprendizaje. Desde el punto de vista de esta tesis, esta etapa ofrece información relevante para seguir la evolución del aprendizaje del

concepto de campo eléctrico reconociendo los invariantes operatorios que utilizan los estudiantes para resolver situaciones problemáticas, producir explicaciones y fundamentar sus ideas.

- **De refuerzo y ampliación.** Tuvieron por objeto atender a las características individuales en el aprendizaje. Debido al poco tiempo disponible en el cuatrimestre para el tratamiento del tema Campo Eléctrico, esta etapa se desarrolló en las instancias de clases de consulta en horarios complementarios a las clases. Cabe destacar que la asistencia a las mismas es voluntaria.

Se muestran a continuación los contenidos de las unidades temáticas relacionadas con el concepto de campo eléctrico y sus respectivas cargas horarias, extraídos del programa analítico de Física Eléctrica de la Unidad Docente Básica Física propuesto por el profesor responsable para la Carrera de Ingeniería Mecánica:

Unidad Temática No 1: Ley de Coulomb y Campo Eléctrico. 14 hs. Carga eléctrica. Conductores y aisladores. Ley de Coulomb. Campo eléctrico. Líneas de campo Eléctrico. Distribuciones de cargas: lineal, superficial y volumétrica. Movimiento de partículas cargadas en un campo eléctrico  $E$ . Cálculo de  $E$  para distribuciones discretas y continuas de cargas. Dipolo eléctrico en campos uniformes y no uniformes.

Unidad Temática No 2: Ley de Gauss y Potencial Eléctrico. 14hs. Flujo del campo eléctrico. Ley de Gauss. Aplicaciones de la Ley de Gauss. Potencial y energía potencial eléctrica. Cálculo de  $V$  a partir de  $E$  y viceversa. Energía potencial eléctrica debido a un sistema de partículas cargadas. Potencial debido al dipolo eléctrico. Generador electrostático.

En la tabla 6.1 se muestra el cronograma establecido para las unidades temáticas 1 y 2 en la planificación oficial de la asignatura. En cada semana

se desarrolla una única clase teórico-práctica de resolución de problemas de lápiz y papel. Los trabajos prácticos de laboratorio se realizan en una clase complementaria.

**Tabla 6.1.** Cronograma establecido por el profesor para el desarrollo de los contenidos relacionados con campo eléctrico

<b>CRONOGRAMA (unidades temáticas 1 y 2)</b>		
<b>Semana</b>	<b>Teorías-Coloquio-Problemas</b>	<b>Experiencias demostrativas y Laboratorio</b>
1	Electrostática- Ley de Coulomb	TP1.Experiencias demostrativas a cargo del docente
2	Campo Eléctrico	-----
3	Problemas de Campo Eléctrico. Coloquio de situaciones problemáticas	-----
4	Ley de Gauss	TP2.Experiencias de electrostática (Laboratorio de Física)
5	Aplicaciones de la ley de Gauss	-----
6	Potencial Eléctrico	-----
7	Problemas de Potencial Eléctrico Capacitores	TP3.Simulación con programa ESET (Laboratorio de informática)

### **6.3. DISEÑO DE DESARROLLO DE LA UNIDAD DIDÁCTICA: "CAMPO ELÉCTRICO"**

Es importante destacar que el diseño de la Unidad Didáctica: *Campo eléctrico* se realizó para la realidad educativa de la FRSF – UTN con las particularidades que fueron descriptas en el capítulo 4. Para el diseño se consideraron los contenidos básicos de Física Eléctrica para la carrera de Ingeniería Mecánica, y las exigencias e incumbencias profesionales establecidas. La misma fue desarrollada según el organigrama mostrado en la tabla 6.2.

**Tabla 6.2.** Organigrama para el desarrollo de la Unidad Didáctica: Campo Eléctrico

Fase	Clase	Contenido	Finalidad	Actividades del docente	Actividad del estudiante
I	1	Ley de Coulomb	Organizador previo. Fundamentos teóricos	Presentación del tema y vinculación con contenidos de Física Mecánica. Realización de experiencias demostrativas (TP1)	Participa recordando contenidos previos
	2	Texto del cap. 1 (Feynman, Leighton y Sands, 1987)	Indagación evaluativa	Análisis de procesos cognitivos y estrategias adoptadas por los estudiantes en la comprensión del texto	Lectura comprensiva del texto y trabajo individual
II		Campo eléctrico	Organizador previo fundamentos teóricos	Presentación del concepto de campo eléctrico	Preguntas y formula ideas
	3	Problemas y situaciones problemáticas	Organizador previo con guía de situaciones	Participación en el coloquio y resolución de problemas	Trabajo individual y grupal
	4	Ley de Gauss	Organizador previo con guía de situaciones problemáticas	Orientación de los estudiantes promoviendo el diálogo y la producción	Trabajo individual y grupal (TP2)
	5	Problema de las 4 cargas en los vértices de un cuadrado	Indagación evaluativa	Análisis de la modelización de los estudiantes frente a la actividad propuesta	Trabajo grupal
III	6	Potencial eléctrico. Problemas de lápiz y papel	Organizador previo con guía de situaciones problemáticas y problemas	Participación en el coloquio y resolución de problemas	Trabajo individual y grupal
		5 situaciones problemáticas	Indagación evaluativa	Evaluación del cuestionario para resolución individual	Trabajo individual
IV	7	Problemas de Potencial eléctrico. Capacitores	Organizador previo guía de situaciones problemáticas y problemas	Orientación a los estudiantes y discusión de aspectos teórico-prácticos	Explicitación de dudas y discusión de resoluciones
		Trabajo práctico de simulación (TP3)	Indagación Evaluativa	Evaluación del cuestionario para resolución grupal	Autoevaluación

Se emplearon los siguientes materiales instruccionales:

- 
- Notas de clase elaborada de acuerdo con los contenidos teóricos presentados en el capítulo 2 (Ver anexo IV)
  - Guías de situaciones problemáticas y problemas (Ver Anexo V)
  - Guía de trabajos práctico de simulación (Ver Anexo VI)

En la tabla 6.2 se han sombreado las actividades sobre las cuales se centró la indagación evaluativa para el seguimiento del aprendizaje de los estudiantes durante el desarrollo de la aplicación de la propuesta de intervención didáctica.

Como se muestra en la tabla 6.2 la intervención didáctica comprendió cuatro fases, que se describen a continuación.

**Fase I:** Se inicia con la primera clase de Física Eléctrica en la cual se hace la presentación general de los contenidos a desarrollar durante el curso, para proceder luego a la construcción de la noción de interacción eléctrica. Como se destaca en el organigrama (tabla 6.2) la fase I culmina en la segunda clase con una actividad de comprensión de un texto de Feymann, mencionado en la tabla 6.2, relacionado con la interacción electrostática entre cargas. Con un lenguaje sencillo y recurriendo a la comparación con la fuerza gravitatoria, este autor introduce la fuerza eléctrica como interacción a distancia y la idea de carga eléctrica asociada a una configuración de protones y electrones en la materia.

La comprensión de este texto se constituyó en la primera instancia evaluativa de los conceptos previos al de campo eléctrico. Se tuvo en cuenta que el conocimiento previo es la variable que más influye en el aprendizaje significativo de nuevos conocimientos (Ausubel, 1968) y, además, según Vergnaud (1990) el funcionamiento cognitivo del estudiante en situación de aprendizaje depende del estado de sus conocimientos implícitos o explícitos.

**Fase II:** Se inicia en la segunda parte de la clase 2 con la introducción de las primeras nociones de campo eléctrico. La intervención didáctica se sustentó en la construcción del concepto de **E** como una función del espacio, sus diversas formas de representación y su relación con el potencial eléctrico y la energía.

El profesor continuó desarrollando los contenidos teóricos en las clases siguientes, incorporando la resolución de situaciones problemáticas. Para esto se tuvieron en cuenta las actividades planteadas en el Anexo V que fueron desarrolladas por el docente en clases previas.

En la realización de las actividades se dio importancia a la complejidad creciente de los enunciados de las situaciones problemáticas propuestas para su resolución en clase, tomando en consideración procedimientos, representaciones simbólicas y su fundamentación teórica.

La identificación de los principios y características que se enuncian a continuación son el resultado de la investigación presentada en el capítulo 5 relacionada con la construcción del concepto de campo eléctrico.

El campo eléctrico:

- 1- es un modelo para comprender la interacción entre cargas;
- 2- contiene implícitamente la noción de tiempo asociado a la interacción;
- 3- se puede pensar como una función dependiente de las coordenadas espaciales;
- 4- involucra cargas que pueden estar en reposo o en movimiento;
- 5- responde al principio de superposición;
- 6- es independiente del valor de la carga de prueba ubicada para detectar el campo **E**;

- 
- 7- admite diferentes representaciones (por medio de una ecuación, por medio de vectores, por medio de líneas de campo);
  - 8- permite caracterizar junto al potencial eléctrico el comportamiento de partículas cargadas;
  - 9- transporta energía.

La mediación del docente, acompañando las notas de clase, se realizó seleccionando situaciones problemáticas que los estudiantes consideren que están a su alcance resolverlas. Tales situaciones tienen una complejidad creciente, promoviendo el paso gradual entre ellas. Se consideró también que estas situaciones generen cierto desequilibrio en los estudiantes, haciéndoles tomar conciencia de los límites de sus concepciones hasta ese momento.

Se adaptaron y seleccionaron las actividades a proponer a los alumnos de modo de analizar el acoplamiento teórico entre las distintas situaciones, que para Vergnaud (1990) es el primer acto de mediación de la enseñanza.

En las situaciones y actividades se tuvo en cuenta:

- la conceptualización del concepto de campo eléctrico como un proceso que forma parte de las actividades propuestas, para captar las ideas que operan en los esquemas, de ahí la importancia del concepto de invariante operatorio.
- un concepto como un triplete: un conjunto de situaciones, un conjunto de invariantes operatorios, un conjunto de formas lingüísticas y simbólicas.

En la tabla 6.3 se presenta una caracterización de cada una de las situaciones problemáticas que se les proporcionó a los estudiantes (Anexo V), las mismas fueron analizadas y discutidas en las clases en conjunto con el docente.

En forma complementaria se realizó el Trabajo Práctico 2 utilizando la misma guía presentada en el Anexo I que comprende un conjunto de

actividades de Electrostática que los estudiantes deben explicar. (Estas actividades son las mismas que se analizaron, con estudiantes del año anterior, en el apartado 5.2.2.

**Tabla 6.3** Caracterización de las situaciones problemáticas (ver Anexo V)

Situación Problemática	Objetivo	Relación con contenidos previos	Conceptos requeridos
1. Configuración de cargas en el átomo de H	Comparar órdenes de magnitud de las intensidades de las fuerzas gravitatoria y eléctrica	Fuerza de gravedad entre un protón y un electrón	Cargas, interacciones gravitatorias y eléctricas
2. Configuración de cargas puntuales en el vacío	Analizar la variación de la intensidad con la distancia	Fuerza eléctrica	Interacción eléctrica
3. Configuración de cargas puntuales en el plano	Representar gráficamente vectores fuerza eléctrica	Principio de superposición	Principio de superposición de fuerzas
4. Separación de cargas eléctricas	Reconocer la conducción eléctrica en distintos materiales	Conductores y aislantes	Carga eléctrica, conductividad eléctrica
5. Carga por contacto	Analizar la transferencia de cargas por contacto	Fuerza eléctrica	Cargas de distinto signo, equilibrio eléctrico
6. Campo eléctrico en barra delgada y aislante	Representar gráficamente el campo eléctrico	Línea de campo eléctrico	Campo eléctrico
7. Campo eléctrico en placa conductora	Representar gráficamente el campo eléctrico	Placa conductora	Campo eléctrico en conductores
8. Campo Eléctrico en cavidades	Representar gráficamente el campo eléctrico para distribuciones uniformes de carga	Densidad de carga , fuerzas campo eléctrico	Campo eléctrico
9. Anillo uniformemente cargado	Analizar la distribución de cargas y calcular el campo eléctrico	Densidad lineal de carga	Carga, densidad de carga, cálculo de campo eléctrico
10. Anillo cargado con distinta densidad de carga	Analizar la distribución de cargas y calcular el campo eléctrico	Densidad lineal de carga	Carga, densidad de carga, cálculo de campo eléctrico

11. Electrón en una región del espacio con campo eléctrico	Diferenciar situaciones de campo uniforme y no uniforme, efectuar el tratamiento vectorial del campo eléctrico	Leyes de la mecánica (dinámica – energía)	Fuerza y campo eléctrico
12. Dipolo	Diferenciar situaciones de campo uniforme y no uniforme, efectuar el tratamiento vectorial del campo eléctrico	Leyes de la mecánica, campo eléctrico	Momento dipolar eléctrico
13. Cuerpo cargado	Aplicar la ley de Gauss	Campo eléctrico Carga neta	Flujo eléctrico Superficie gaussiana
14. Moléculas de agua, dióxido de carbono	Aplicar el concepto de flujo	Campo eléctrico Carga neta	Flujo eléctrico Superficies gaussianas
15. Placa conductora	Fundamentar la distribución de cargas en superficies conductoras	Distribución superficial de cargas	Campo eléctrico
16. Placa aislante	Fundamentar la distribución de cargas en superficies aislantes	Distribución superficial de cargas	Campo eléctrico
17. Dos placas paralelas	Aplicar el principio de superposición	Campo eléctrico	Campo eléctrico, distribución superficial de cargas
18. Configuración espacial de cargas	Representar el $\mathbf{E}$ en el caso de simetría cilíndrica	Superficie gaussiana	Campo eléctrico, densidad volumétrica de cargas
19. Esferas cargadas	Representar el $\mathbf{E}$ en el caso de simetría esférica	Superficie gaussiana	Campo eléctrico, densidad volumétrica de cargas
20. Configuración esférica	Representar el $\mathbf{E}$ en el caso de distribuciones esféricas	Campo eléctrico, Superficie gaussiana	Campo eléctrico

La quinta clase (indagación evaluativa de la Fase II) consistió en la solución en grupos de alumnos de un mismo problema a través de enunciados cuyos datos pueden aparecer en forma cualitativa o cuantitativa, con o sin gráfico.

**Fase III:** Se avanzó en el tratamiento teórico del campo eléctrico con las consideraciones energéticas correspondientes. Se trabajó sobre una guía de cuestiones como protocolo de intervención (Ver 2º parte del Anexo V)

tratando de reconocer las identificaciones de situaciones anteriormente trabajadas y que resulten favorables para recuperar sus conocimientos previos (cuestiones 1 a 4), progresar paso a paso en la complejidad y aquellas que apelan a la desestabilización de los alumnos, para la cual el trabajo de mediación del docente es más importante y más complejo (cuestiones 5 a 9).

Los enunciados de las cuestiones propuestas en la guía tuvieron en cuenta los conceptos organizadores del concepto de Campo Eléctrico según Llancanqueo, Caballero y Moreira (2003):

- Reconocimiento e identificación de la magnitud física campo eléctrico a la que se aplican los conceptos de vector, función y campo eléctrico en las distintas situaciones.
- Presencia de expresiones escritas con predicados que definen propiedades de conceptos: de vector, función y campo vectorial.
- Identificación de invariantes que se relacionen con el conjunto de representaciones simbólicas y pictóricas que representan significados de los conceptos de vector, función, campo vectorial y campo eléctrico.
- Uso e identificación de invariantes a partir de procedimientos usados por los estudiantes en las resoluciones: aplicaciones de operaciones, propiedades y representaciones simbólicas ligadas a los conceptos de vector, función, campo vectorial y campo eléctrico.

En la tabla 6.4 se efectúa una caracterización del contenido de la guía, destacando con el grisado las cuestiones en que se trata específicamente las condiciones energéticas asociadas con el campo eléctrico.

En la segunda parte de la sexta clase (indagación evaluativa de la Fase III) se les presentó a los estudiantes un problema integrador de los temas

correspondientes a campo y potencial eléctrico que debían resolver en forma individual.

**Tabla 6.4** Caracterización de las cuestiones abordadas en la Fase III (ver Anexo V)

Cuestión	Objetivo	Relación con contenidos previos	Conceptos requeridos
1. Dos cargas puntuales en el plano	Caracterizar vectorialmente la fuerza y el campo eléctrico	Concepto de fuerza	Fuerza eléctrica, campo eléctrico equilibrio
2. Ocho cargas puntuales geometría espacial	Representar vectorialmente el campo para una distribución espacial de cargas puntuales	Carga y fuerza eléctrica	Campo eléctrico
3. Dos cargas positivas y dos negativas	Representar el campo mediante líneas de campo	Carga de prueba, equilibrio de fuerzas	Campo. Relación intensidad-líneas de campo
4. Cuatro cargas idénticas	Representar el campo mediante líneas de campo	Carga de prueba, equilibrio de fuerzas	Campo Relación intensidad-líneas de campo
5. Dipolo eléctrico	Caracterizar el campo y el potencial eléctrico de un dipolo.	Trabajo, Fuerza eléctrica	Momento dipolar eléctrico, energía potencial eléctrica
6. Cuerpo cargada	Diferenciar el comportamiento de conductores y aislantes	Propiedades de conductores y aislantes	Campo eléctrico en conductores
7. Distribución de cinco cargas puntuales en semicírculo	Representar el campo eléctrico de una distribución discreta y continua de cargas	Carga eléctrica	Campo y potencial eléctrico
8. Distribución volumétrica de cargas	Representar el campo eléctrico de una distribución espacial de cargas en conductores	Carga eléctrica, potencial	Potencial eléctrico, diferencia de potencial
9. Dos placas grandes paralelas	Representar el campo eléctrico de una distribución continua de cargas sobre una placa	Fuerza, trabajo, campo, potencial	Campo eléctrico, capacidad energía eléctrica

**Fase IV:** Se inicia con una clase donde los alumnos plantean sus dudas en relación con los contenidos trabajados, muestran las resoluciones realizadas, discuten en el grupo y debaten los resultados. En la segunda parte de la clase 7, la intervención didáctica consistió en la utilización de un

software de simulación y el desarrollo de distintas actividades incluido un ítem de autoevaluación (Anexo VI). La incorporación de la simulación tuvo como finalidad ofrecer un marco para la visualización de aspectos involucrados en el concepto de campo eléctrico y contrastar, en forma gráfica e inmediata, de sus propias conceptualizaciones. De este modo se atendió a la incorporación de situaciones alternativas de acuerdo con el marco teórico adoptado para esta etapa:

“... un concepto no se forma dentro de un solo tipo de situaciones; 2) una situación no se analiza con un solo concepto; 3) la construcción y apropiación de todas las propiedades de un concepto o de todos los aspectos de una situación es un proceso de largo aliento que se extiende a lo largo de los años, a veces de una decena de años, con analogías y mal entendidos entre situaciones, entre conceptos, entre procedimientos, entre significantes.” (Vergnaud, 1990, p.70).

Para la selección de la actividad se realizó un relevamiento de distintos software de simulación libre, y se escogió uno que permitió diseñar actividades compatibles con los enfoques disciplinares y didácticos explicitados en el marco teórico de esta tesis. Para ello se consideró necesario evaluar qué materiales y tecnologías pueden integrarse y ser coherentes con dicho planteamiento (Marino, Carreri, Alzugaray, 2007).

En función de esto se seleccionó el programa situado en la página [www.xtec.net/~ocasella/index2.htm](http://www.xtec.net/~ocasella/index2.htm), denominado FisLab.net, en base a los criterios propuestos por Pere Marquès Graells (2001). Dicho sitio puede ser considerado como un “laboratorio virtual de Física”, donde se encuentran diversos recursos educativos.

En particular, se identifica un programa interactivo, sobre contenidos de electrostática, que permite trabajar con diferentes configuraciones discretas de cargas eléctricas, analizar y calcular el campo y potencial eléctrico generado por las mismas, pudiéndose representar de distintas maneras. La

---

guía de actividades propuesta pretende la construcción significativa del concepto de campo eléctrico como una función del espacio, sus diversas formas de representación y su relación con el potencial eléctrico.

Se puso el énfasis en el aprendizaje del dominio teórico pero indisoluble del aprendizaje del dominio metodológico, el trabajo práctico de laboratorio tradicional se realizó en una instancia anterior al de simulación, tratando de promover una evolución en los esquemas conceptuales de los estudiantes. Andrés, Pesa y Meneses (2006) plantean que un experimento u observación experimental es concebido desde algún referente teórico, además, la interpretación de las observaciones sólo es posible desde algún modelo o teoría. Así como plantea Chalmers (1982) consideran que los enunciados observacionales no son más que expresiones teóricas, por lo tanto, dependen de éstas.

Según la Teoría de los Campos Conceptuales (Vergnaud, 1990; Moreira, 2004) para que se produzca aprendizaje, es decir, ocurra la construcción significativa de nuevos esquemas, se debe enfrentar a los estudiantes ante situaciones novedosas.

Es en este contexto que se plantea el trabajo práctico de simulación como una actividad compleja de resolución de problemas, donde intervienen esquemas tanto del dominio teórico al cual refiere la situación, como del dominio metodológico ambos en íntima relación. Para su organización se tuvieron en cuenta las concepciones de los estudiantes en relación al concepto Campo Eléctrico y las dificultades para su comprensión, identificadas en el capítulo 5, apartado 5.3.

Se tuvo en consideración para la selección del software de simulación:

- la reproducción de fenómenos eléctricos difícilmente observables de manera directa,
- la oportunidad que brinda para que el estudiante pone a prueba sus conocimientos previos acerca de los fenómenos eléctricos,

- la posibilidad que ofrece para que el alumno comprenda mejor el modelo conceptual utilizado para explicar el fenómeno, por ejemplo, de superposición de campos,
- la simulación permite modificar a voluntad parámetros y condiciones iniciales que aparecen en el modelo conceptual.
- la simulación evita al estudiante cálculos numéricos complejos, permitiéndoles concentrarse en los aspectos conceptuales de la situación planteada. (El cálculo numérico no queda excluido sino que se considera necesario postergarlo hasta avanzar en la conceptualización de campo eléctrico.)

**Tabla 6.5** Caracterización del trabajo práctico de simulación (ver Anexo VI)

Situación	Objetivo	Conceptos requeridos
Acercamiento al entorno	Estudio del campo eléctrico y el potencial eléctrico generado por cargas eléctricas en reposo (electrostática), en particular, su representación y el reconocimiento y descripción de propiedades asociadas a dicha configuración.	Carga, fuerza eléctrica, campo eléctrico, potencial eléctrico, principio de superposición propiedades de líneas de campo y superficies equipotenciales.
Representación del campo eléctrico	Representación, determinación e interpretación del campo y potencial eléctrico de cargas puntuales (distribuidas en forma discreta).	Corroborar que la magnitud «intensidad de campo» sólo depende de la distancia y de la carga generadora del campo.
Análisis del campo eléctrico mediante vectores o líneas de campo eléctrico	Comprender la representación gráfica del campo eléctrico a través de las líneas de campo y aplicarlo al estudio cuantitativo del mismo.	Aplicar el modelo en el cálculo de la «intensidad de campo» para una carga puntual y distribuciones de cargas puntuales.
Representación de regiones equipotenciales	Interpretar las representaciones del potencial eléctrico y su variación espacial.	Relacionar las líneas de $E$ y las superficies equipotenciales

En la tabla 6.5 se presenta un detalle de las situaciones abordadas y los contenidos asociados.

---

Se consideró importante que la inclusión del software de simulación entre los materiales curriculares fuera acompañada de un proceso reflexivo de los profesores que fundamente la elección, teniendo en cuenta un planteamiento metodológico sistemático y diseñado en función de los objetivos de la enseñanza. Fue por ello que se analizó con los docentes que no se trataba tanto de una selección de un software sólo por el atractivo o interés que conlleva en sí mismo, sino más bien, de analizar el diseño de estrategias de enseñanza en el marco de determinados enfoques disciplinares y didácticos y para ello evaluar qué materiales y tecnologías pueden integrarse y ser coherentes con dicho planteamiento (Alzugaray, Capelari y Carreri, 2007; Alzugaray, Capelari y Carreri 2006).

#### **6. 4. INDAGACIÓN EVALUATIVA**

La indagación evaluativa se sitúa en un marco de conocimiento y exigencias de superación de debilidades conceptuales. Está inmersa en el planteamiento del diseño de una unidad didáctica, adaptada a las características de la realidad educativa donde se desarrolló.

La función de la evaluación en el ámbito didáctico se ocupó de ayudar a desarrollar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los alumnos, en las mejores condiciones posibles dentro del ámbito académico. Este espacio de evaluación fue un elemento determinante de la planificación didáctica, cuyos aspectos influyen en el rendimiento académico de los alumnos. Considerada de esta manera la evaluación no sólo es un elemento del diseño de la unidad didáctica, sino también una ocasión de aprendizaje para el estudiante.

#### **6.4.1. FASE I: Análisis de contenido en la comprensión de un texto**

Al concluir esta fase se procedió al estudio de las actuaciones de los estudiantes en la lectura del fragmento del cap. 1 de Feymann, Leighton y Sands (1987). Considerando que el funcionamiento cognitivo del estudiante en situación (Vergnaud, 1990) depende del estado de sus conocimientos implícitos y explícitos, se buscó información sobre conocimientos previos para iniciar la construcción del concepto de campo eléctrico. Especialmente se trató de analizar los esquemas que evidenciaban los estudiantes en el análisis del texto, ya que los mismos organizan su conducta para una clase de situación dada, pero también organizan la acción y la actividad de representación simbólica que acompaña a la acción, siendo esta última una fuente de conocimiento porque cumple un papel fundamental en la estructuración del discurso. Al igual que los textos escritos, la representación simbólica es una fuente de información como expresión del conocimiento disponible.

Al leer el texto, los estudiantes hacen uso de sus conocimientos previos a fin de reconocer/producir significados y asociarlos con símbolos que los representan y formalizan en un proceso de conceptualización. De Vega (1993) y Alexander y Kulikowich (1994) señalan la complejidad cognitiva de los procesos de lectura, ya que el estudiante debe operar simultáneamente en varios niveles de procesamiento (codificación de palabras, codificación sintáctica, codificación gráfica, etc.)

A través de la lectura del texto se busca que el estudiante pueda evidenciar que no sólo se trata de un texto informativo sino que, dependiendo de su capacidad para relacionar y transformar los conceptos analizados pueda ser capaz de realizar inferencias (Vergnaud, 2007), representaciones externas (Lombardi, Caballero y Moreira, 2009) y elaboraciones que deben tener coherencia evidenciando su comprensión (Macías, Castro y Maturano, 1999).

---

**Sujetos:** Participaron de esta actividad los 46 estudiantes inscriptos al curso de Física eléctrica de la carrera Ingeniería Mecánica de la FRSF-UTN, en el cual se realizó la intervención didáctica.

**Metodología:** Como se indicó en la Tabla 6.2 esta actividad se desarrolló en la segunda clase, luego de que el docente introdujera la noción de interacción eléctrica.

El texto de Feynman utilizado, que se transcribe a continuación, describe la semejanza que existe entre fuerzas gravitatorias y fuerzas eléctricas, la masa gravitatoria y las cargas eléctricas y considera cuestiones referidas al equilibrio electrostático, la magnitud de las fuerzas así como su vinculación con la materia. Se utiliza un lenguaje simple pero específico tratando de relacionar los aspectos de la Física que aparecen ligadas a temas y sitios geográficos que los alumnos deberían conocer en su contexto.

Consideremos una fuerza análoga a la de gravitación que varíe con la inversa del cuadrado de la distancia, pero que sea un billón de billones de veces más intensa. Y con otra diferencia. Hay dos clases de "materia", que podríamos llamar positiva y negativa. Si son de la misma clase se repelen y si son de distinta clase se atraen, a diferencia de la gravitatoria que sólo es atractiva ¿Qué sucedería?

Un conjunto de elementos positivos se repelerán con una fuerza enorme y se esparcirán en todas direcciones. A un conjunto de elementos negativos le sucederá lo mismo. Pero una mezcla de elementos positivos y negativos deberá comportarse en una forma completamente diferente. Los elementos opuestos serán mantenidos juntos por una fuerza enorme de atracción. El resultado neto será que estas terribles fuerzas se equilibrarán perfectamente entre ellas y formarán una mezcla de elementos positivos y negativos íntimamente mezclados entre sí y de tal modo que dos porciones separadas de esa mezcla no sufran prácticamente ni atracción ni repulsión.

Una fuerza de ese tipo existe: la fuerza eléctrica. Y toda la materia es una mezcla de protones positivos y electrones negativos que se están

atrayendo y repeliendo con una gran fuerza. Habrá un equilibrio perfecto cuando al estar cerca de este conjunto no se sienta ninguna fuerza resultante. Si se sintiese una ligera falta de balance lo podríamos saber. Si estuviesen ubicados a un brazo de distancia de alguien y en él hubiera *un uno por ciento* más de electrones que de protones, la fuerza de repulsión sería increíble. ¿De qué magnitud? ¿Suficiente para levantar el edificio Empire State? ¡No! ¡La repulsión sería suficiente para levantar un “peso” igual al de la Tierra entera!

Con una fuerza tan enorme y perfectamente equilibrada en esta íntima mezcla no es difícil comprender que la materia, tratando de conservar estas cargas positivas y negativas en el mejor equilibrio, pueda tener una gran rigidez y una gran resistencia. El edificio Empire State, por ejemplo, se aparta sólo 2,50 metros de su posición de equilibrio dado que las fuerzas eléctricas mantienen cada electrón y cada protón más o menos en su propio lugar. Por otra parte, si consideramos la materia en una escala mucho más pequeña de tal manera que tengamos sólo algunos átomos, cualquier porción de material de este tamaño no tendrá por lo común igual número de cargas positivas y negativas y, en consecuencia, existirán intensas fuerzas eléctricas residuales.

Igualmente, cuando hay un número igual de cargas de signos opuestos en dos pequeños trozos de materia vecinos, puede haber entre ellos grandes fuerzas eléctricas resultantes, ya que las fuerzas entre cargas individuales varía con la inversa del cuadrado de la distancia. Se puede producir una fuerza resultante si una carga negativa de un trozo de material está más cerca de una carga positiva que de una negativa del otro trozo. La fuerza de atracción puede, entonces, ser mayor que la de repulsión de tal manera que puede existir una fuerza de atracción resultante entre los dos trozos de materia sin que haya un exceso neto de cargas. Las fuerzas que mantienen juntos los átomos y las fuerzas químicas que mantienen juntas las moléculas, son, en realidad, fuerzas eléctricas actuando en una región en la cual el equilibrio de cargas es perfecto, o bien en una región donde las distancias son muy pequeñas.

---

**Cuadro 6.1.** Protocolo utilizado para el análisis del texto

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>a- Redondea las palabras que no comprendas.</li><li>b- Subraya los aspectos más importantes que caracterizan a las fuerzas eléctricas.</li><li>c- ¿Existe paralelismo entre fuerza eléctrica y fuerza gravitatoria? Marca semejanzas y diferencias.</li><li>d- ¿Podrías graficar alguna de las situaciones que plantea el texto? ¿Cuál o cuáles?</li></ul> |
|--|

Se trabajó este texto ya que si bien no está directamente relacionado con el tema Campo Eléctrico, el alumno llega a la clase de Física Eléctrica con conocimientos previos que influyen en el aprendizaje de los nuevos conocimientos. Los primeros conceptos trabajados en la clase 1 fueron el de carga y fuerza eléctrica con sus propiedades, mostrando la similitud entre la fuerza eléctrica y la fuerza gravitatoria.

Se solicitó a los 46 estudiantes presentes en esa clase que luego de una atenta lectura realizaran las actividades indicadas en las consignas que se muestran en la cuadro 6.1. Se respetó el tiempo individual de procesamiento de la información de cada alumno.

En el texto en consideración, los conceptos presentes fueron trabajados en las clases previas y no deberían suponer obstáculos para su comprensión. Una primera instancia tuvo como objetivo promover en el estudiante la identificación de los conceptos.

Inicialmente interesó conocer las palabras, frases u oraciones que pudieron actuar como obstáculos de comprensión, procediéndose a realizar entrevistas no estructuradas a los estudiantes que manifestaron dificultades en el ítem (a) de las consignas. Según Vergnaud (2007) el primer acto de mediación de la enseñanza es la elección de la situación a proponer a los estudiantes. La ciencia está hecha de textos, pero los mismos sólo dan cuenta imperfecta del conocimiento operatorio, que se pone en acto en situación.

**Tabla 6.6.** Categorías de análisis y modalidades para estudiar la comprensión lectora de los estudiantes (adaptadas de Penagos & Palacino, 2004)

Categorías de análisis	Modalidades
<p><b>I: Interpretativa</b></p> <p>Enunciado encaminado a encontrar el sentido de un texto, un problema, una gráfica.</p>	I <sub>1</sub> - Describe información correspondiente a la situación planteada en el texto.
	I <sub>2</sub> - Describe información correspondiente a la situación planteada en el texto y establece relaciones entre las variables confrontando los datos.
	I <sub>3</sub> - Describe información correspondiente a la situación, planteada en el texto estableciendo relaciones entre las variables, confrontando los datos e identificando situaciones dadas usando justificaciones para su explicación.
<p><b>A: Argumentativa</b></p> <p>Enunciado dirigido a explicar, dar razones y desarrollar ideas de una forma coherente con el contexto de la disciplina evaluada.</p>	A <sub>1</sub> . Realiza predicciones basándose en conceptos trabajados en clase
	A <sub>2</sub> . Realiza predicciones basándose en conceptos trabajados en clase y plantea afirmaciones, justificando e interrelacionando ideas.
	A <sub>3</sub> . Realiza predicciones basándose en conceptos trabajados en clase y plantea afirmaciones para justificar e interrelacionar ideas que presenta a través de un discurso con sentido.
<p><b>P: Propositiva</b></p> <p>Enunciado cuyo fin persigue que el estudiante proponga alternativas que puedan aplicarse en un contexto determinado.</p>	P <sub>1</sub> - Plantea opciones alternativas a los hechos relatados en el texto interrelacionando suceso.
	P <sub>2</sub> - Plantea opciones alternativas a un hecho interrelacionando sucesos y justifica ideas de manera crítica y creativa.
	P <sub>3</sub> - Utiliza formalismos a través de los cuales interrelaciona sucesos y aplica sus ideas
	P <sub>4</sub> . Recurre a estrategias de adquisición, simbolización y recuperación de la información.
<p><b>R: Regulatoria y de control</b></p> <p>Enunciado cuyo fin persigue que el estudiante justifique y compare soluciones.</p>	R <sub>1</sub> . Existencia de justificaciones.
	R <sub>2</sub> . Criterios de justificaciones.
	R <sub>3</sub> . Conceptos seleccionados como centro de justificaciones.
	R <sub>4</sub> . Recursos de comparación de soluciones.

---

En una segunda instancia se indagó la comprensión lectora de los estudiantes utilizando las categorías que se presentan en la tabla 6.6. Las mismas se readaptaron de las definidas por Penagos & Palacino (2004), ya que estaban más focalizadas en las categorías intervinientes en el proceso de comprensión de textos científicos y en competencias complejas que se relacionan y entrecruzan dando un análisis más profundo de la situación didáctica (Vergnaud, 1990). Las respuestas de los alumnos fueron organizadas de acuerdo con el nivel de comprensión evidenciado en sus respuestas y emergente del procesamiento estadístico de las mismas.

En una tercera instancia se analizaron las representaciones gráficas del texto solicitada en la consigna (d).

### **Resultados:**

#### **A) Frases y oraciones no comprendidas**

Siguiendo con el análisis de la comprensión del texto se transcriben, en el cuadro 6.2, las oraciones que 13 de los 46 estudiantes no comprendieron, de acuerdo a lo solicitado en el ítem (a). Se indica al final de ellas, entre paréntesis, la cantidad de estudiantes que han hecho referencia a las mismas.

Se indagó, consultando mediante entrevistas no estructuradas, si la ausencia de comprensión se debía a la ignorancia en el significado de las palabras como: *análoga* o *residuales*, o a su empleo dentro del texto. La contestación de los estudiantes implicó una combinación de las dos cosas. Así, los estudiantes aludidos no lograban explicar las propiedades y relaciones para darle operacionalidad a los conceptos. Se observó una falta del equilibrio necesario entre la situación presentada en el texto y los conocimientos que poseen para que, reconociendo sus límites, avancen en la conceptualización de los conceptos no comprendidos del texto.

Desde el punto de vista de la Teoría de Campos Conceptuales, los conceptos involucrados en las oraciones del cuadro 6.2, tales como *fuerzas eléctricas* o

*equilibrio*, se tornan significativos en la interpretación de las situaciones. Tomando el punto de vista de la mediación a través del lenguaje como un proceso ineludible en la enseñanza, se desprende de este análisis cómo los conceptos *fuerzas análogas* y *equilibrio* se construyen apoyándose unos en otros en el texto y que el lenguaje permite la identificación de los mismos. Sin embargo, la mediación del lenguaje no se limita a poner en palabras el contenido conceptual de los conocimientos.

**Cuadro 6.2.** Frases no comprendidas por algunos estudiantes en el texto de Feynman, Leighton y Sands (1987)

- 1-Si estuviesen ubicados a un brazo de distancia de alguien y en él hubiera un uno por ciento más de electrones que de protones, la fuerza de repulsión sería increíble. ¿De qué magnitud? ¿Suficiente para levantar el Edificio ejemplo, se aparta Empire State? ¡No! ¿Para levantar el Monte Everest? ¡No! La repulsión sería suficiente para levantar un "peso" igual al de la Tierra. (2)
- 2- El edificio Empire State, por ejemplo, se aparta sólo 2,50 metros de su posición de equilibrio. (3)
- 3- ...y de tal modo que dos porciones separadas de esa mezcla no sufran prácticamente ni atracción ni repulsión. (1)
- 4- Consideraremos una fuerza análoga a la de gravitación que varíe con la inversa del cuadrado de la distancia, pero que sea un billón de billón de billones de veces más intensa. (4)
- 6- Fuerzas eléctricas residuales. (1)
- 7- Equilibrio de cargas no es perfecto. (1)
- 8- El resultado neto será que estas terribles fuerzas se equilibran perfectamente entre ellas y formarán una mezcla de elementos positivos y negativos íntimamente mezclados entre sí y de tal modo que dos porciones separadas de esa mezcla no sufran prácticamente ni atracción ni repulsión. (1)

---

## B) Resultados de la comprensión lectora de los estudiantes

En la tabla 6.7 se exponen los resultados del análisis de las respuestas de los estudiantes a los ítems (b) y (c) del protocolo, utilizando las categorías de la tabla 6.6. El alumno que ha logrado describir la información correspondiente a la situación general planteada en el texto, establecer relaciones entre las variables, confrontar los datos e identificar su aplicación a nuevas situaciones usando justificaciones para su explicación, se lo calificó como bueno. Si logra lo exigido en forma parcial, se considera su actuación como regular y se considera que la misma es mala cuando no alcanza ninguna de las condiciones exigidas. La información fue procesada estadísticamente empleando el programa SPSS.11.

**Tabla 6.7.** Frecuencias porcentuales identificadas en las respuestas a los ítems b y c para las categorías de análisis descritas en la Tabla 6.6

Categorías	Modalidades	B %	R %	M %
<b>Interpretativa</b>	I <sub>1</sub>	60,9	-	39,1
	I <sub>2</sub>	30,4	4,3	65,2
	I <sub>3</sub>	19,6	2,2	78,3
<b>Argumentativa</b>	A <sub>1</sub>	15,2	4,3	80,4
	A <sub>2</sub>	13	2,2	84,8
	A <sub>3</sub>	8,7	2,2	89,1
<b>Propositiva</b>	P <sub>1</sub>	8,7	2,2	89,1
	P <sub>2</sub>	6,5	2,2	91,3
	P <sub>3</sub>	10,9	-	89,1
	P <sub>4</sub>	8,7	8,7	82,6
<b>Regulativa y de control</b>	R <sub>1</sub>	10,9	2,2	87
	R <sub>2</sub>	4,3	4,3	91,3
	R <sub>3</sub>	10,9	2,2	87,2
	R <sub>4</sub>	8,7	4,3	87

Las figuras 6.1 a 6.4 muestran la distribución de las modalidades correspondientes a las categorías de análisis utilizadas (Tabla 6.6) en función del rendimiento de las respuestas obtenidas por su contenido.

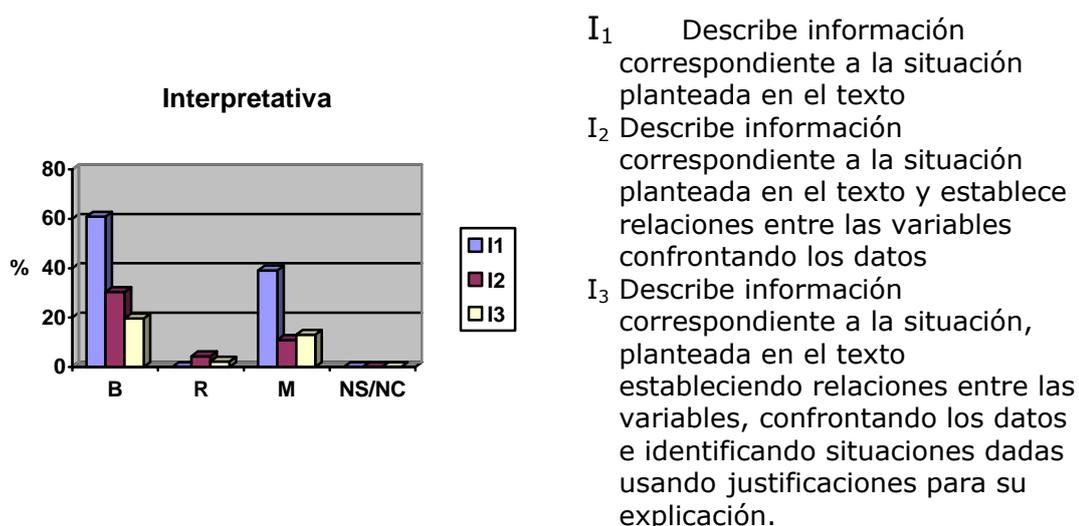
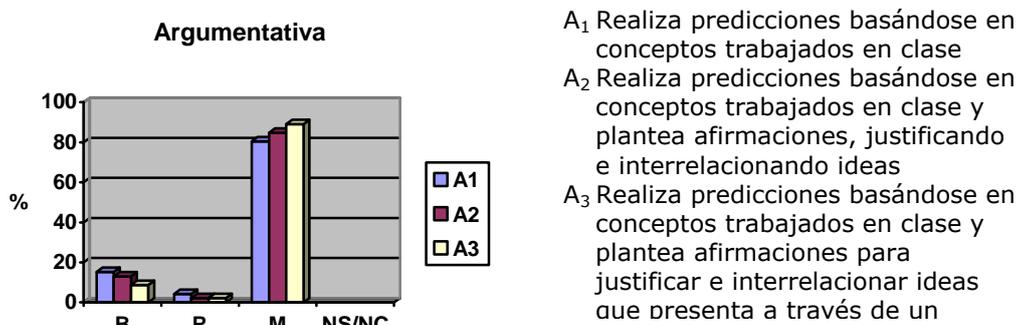


Figura 6.1. Distribución de modalidades de la categoría Interpretativa

La categoría interpretativa (Fig. 6.1) da cuenta de la manera en que los estudiantes jerarquizaron las ideas con las que trabajaron analizando la información en el texto, establecieron relaciones para confrontar datos y detectar en el texto la idea principal. La distribución de las modalidades I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> e I<sub>3</sub> evidenció que si bien el 60% describe adecuadamente la información correspondiente a la situación planteada en el texto, el rendimiento se reduce significativamente cuando deben establecer relaciones entre las modalidades y confrontar los datos. Entre los estudiantes que efectuaron adecuados textos interpretativos hubo desempeños diferentes, el 60% se limitó a organizar en su discurso simplemente la información provista por el texto, menos del 36% fue capaz de establecer además relaciones entre datos y compararlos, pero sólo el 14% lo sostuvo con justificaciones. Sólo 7

---

estudiantes mostraron capacidad de interpretar la idea central en el texto, una estrategia cognitiva perceptible y crucial en la comprensión.



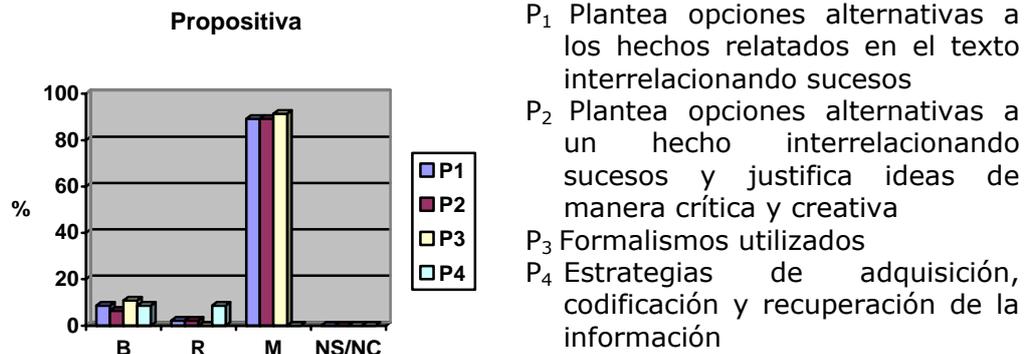
**Figura 6. 2.** Distribución de modalidades de la categoría *Argumentativa*

Se observa, en la distribución de las modalidades A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> correspondiente a la categoría argumentativa (Fig. 6.2), que sólo el 15% de los estudiantes realiza predicciones basándose en los conceptos desarrollados en la clase y el 85% no las establece a través de un discurso con sentido. De acuerdo con lo que Vergnaud plantea respecto al rol que juegan los significantes y la organización de la argumentación en la anticipación y explicitación de inferencias, la reducida capacidad encontrada sugiere la debilidad en la producción argumentativa del grupo.

Con respecto a la categoría propositiva (Fig. 6.3), se observa que el 9% en plantea opciones alternativas interrelacionando conceptos y siendo prácticamente nulas las evidencias de empleo de estrategias de adquisición, codificación y recuperación de la información.

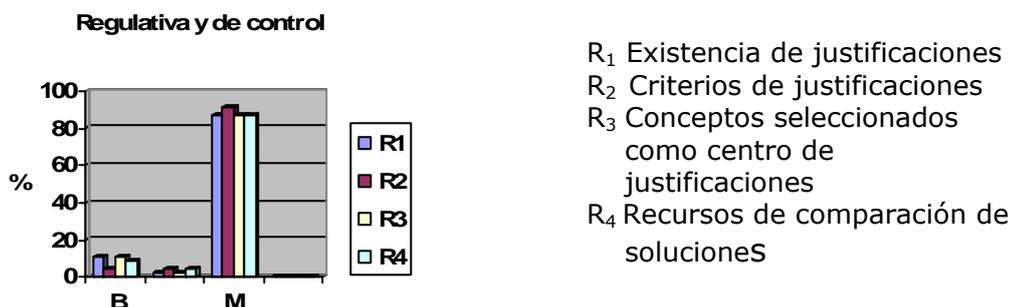
Los resultados indican que los estudiantes transcriben párrafos del texto sin ninguna discusión, sobreentendiendo que lo que está en el material entregado contiene todos los elementos para desarrollar la actividad solicitada. Se pueden reconocer esquemas que se manifiestan en la

interpretación de los fenómenos que describe el texto, pero que no tienen su correlato con la búsqueda de información.



**Figura 6.3.** Distribución de modalidades de la categoría Propositiva

En la categoría regulativa y de control (Fig. 6.4) se observó un rendimiento muy bajo del grupo de estudiantes, con valores semejantes a las dos categorías anteriores. Se pudo reconocer que aproximadamente el 8% de los estudiantes justifica y tiene criterios para seleccionar la información y controlar su aprendizaje.



**Figura 6.4.** Distribución de modalidades de la categoría Regulativa y de Control

Este primer análisis cuantitativo descriptivo brinda una aproximación a la comprensión que los estudiantes realizaron del texto. Se puede inferir de

---

los resultados que los estudiantes organizan durante la comprensión del texto un modelo mental que coincide, en gran medida, con el modelo conceptual pretendido por el autor, en consonancia con la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird (1983). Para lograr esta representación el estudiante tienen que poner en acción distintos procesos (argumentación, interpretación, plantear opciones, justificar, etc.) a fin de establecer conexiones entre las ideas textuales, siendo el núcleo de estos procesos las inferencias. En la muestra de estudiantes si bien han logrado una interpretación razonable del texto, no han logrado profundizar en la comprensión del modelo conceptual involucrado.

Otro de los factores que estaría afectando esta actividad es la reducida práctica de producciones argumentativas escritas a las que están habituados los estudiantes de ingeniería, debido a un fuerte predominio de actividades de cálculo en las diversas asignaturas.

### **C) Análisis de las representaciones gráficas del texto -ítem (d)- del protocolo, realizadas por los estudiantes**

Para el análisis de las representaciones gráficas elaboradas por lo estudiantes, se adaptaron las categorías de la taxonomía propuestas por Perales y Jiménez (2002) considerando los aspectos posibles de ser analizados en el componente icónico de los materiales gráficos: función secuencia didáctica, grado de iconicidad, funcionalidad, relación con el texto principal, etiquetas verbales y contenido científico que las sustenta.

La tabla 6.8 muestra las categorías de análisis y modalidades seleccionadas para analizar el componente icónico de los gráficos generados por los estudiantes.

**Tabla 6.8.** Categorías y modalidades utilizadas para analizar el componente icónico de los gráficos de los estudiantes (adaptada de Perales y Jiménez, 2002)

Categorías	Modalidades
<b>G: Grado de iconicidad</b> Alude a la relación de semejanza con el objeto representado	G <sub>1</sub> - Dibujo figurativo + signos (representativo del objeto + ilustración )
	G <sub>2</sub> - Dibujo esquemático (croquis o esbozo del objeto)
	G <sub>3</sub> - Descripción en signos normalizados en relación con el contenido
<b>F: Funcionalidad</b> Alude a la relación de uso de las imágenes	F <sub>1</sub> - Operativas (imagen que produce el efecto citado)
	F <sub>2</sub> - Elementales (imagen básica)
	F <sub>3</sub> - Sintácticas (imagen simbólica)
<b>R: Relación texto principal</b> Alude a las funciones del lenguaje en relación a las imágenes	R <sub>1</sub> - Connotativa (sugiere otro significado )
	R <sub>2</sub> - Denotativa (presenta un significado básico)
	R <sub>3</sub> - Sinóptica (se presenta en líneas esenciales)
<b>E: Etiquetas verbales</b> Alude a la calificación que se estipula sólo de palabras	E <sub>1</sub> - Normativas (sigue las reglas correctas del lenguaje de las ciencias)
	E <sub>2</sub> - Relacionales (correspondencia entre conceptos semejantes)
<b>C: Contenido científico</b> Alude al significado científico que sustenta la imagen	C <sub>1</sub> - Pertinencia
	C <sub>2</sub> - No pertinencia

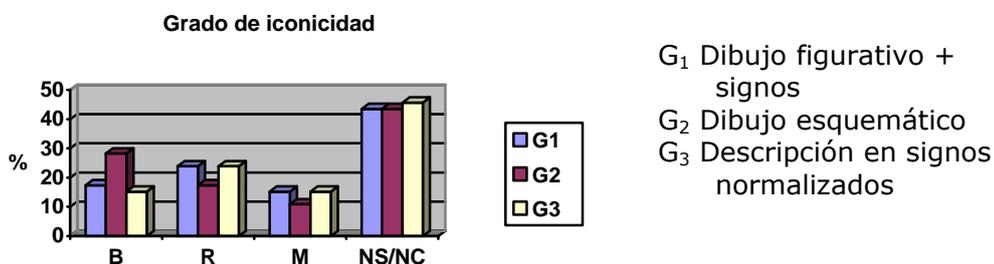
Se adoptó el siguiente criterio para calificar las categorías y sus modalidades: *bueno*, cuando se realiza una representación gráfica compatible con el texto; *regular*, si no logra todo lo exigido y *malo*, cuando no alcanza ninguna de las condiciones exigidas. Las frecuencias absolutas de las respuestas para cada modalidad de las categorías mencionadas se presentan en la tabla 6.9.

**Tabla 6.9.** Frecuencias absolutas identificadas en las respuestas a los ítems b y c para las categorías de análisis descritas en la Tabla 6.8

Categorías	Modalidades	B	R	M	NS/NC
<b>Grado de iconicidad</b>	G <sub>1</sub>	8	11	7	20
	G <sub>2</sub>	13	8	5	20
	G <sub>3</sub>	7	11	21	21
<b>Funcionalidad</b>	F <sub>1</sub>	5	11	9	21
	F <sub>2</sub>	10	10	5	21
	F <sub>3</sub>	12	7	6	21
<b>Relación texto principal</b>	R <sub>1</sub>	13	3	9	21
	R <sub>2</sub>	10	8	7	21
	R <sub>3</sub>	11	5	8	22
<b>Etiquetas verbales</b>	E <sub>1</sub>	5	7	8	26
	E <sub>2</sub>	11	1	8	26
<b>Contenido científico</b>	C <sub>1</sub>	11	5	8	22

## Resultados

Sólo 22 estudiantes de los 46 estudiantes realizaron representaciones gráficas de alguna situación que el texto menciona. Las figuras 6.5 a 6.9 expresan la frecuencia porcentual, relativa a los 46 alumnos, obtenida para las diferentes categorías analizadas.



**Figura 6.5.** Distribución de modalidades de la categoría *Grado de iconicidad*

La figura 6.5 muestra la distribución de las modalidades de la categoría grado de iconicidad atendiendo al rendimiento observado. De los estudiantes que realizan correctamente el gráfico, el 28 % efectúa un dibujo esquemático, el 15% recurre a signos normalizados en los textos, mientras que el 17% opta por representaciones mixtas en las que intervienen dibujos figurativos acompañados por signos, tal como la efectuada por el alumno 31 para el tercer párrafo del texto, según se muestra en la figura 6.6.

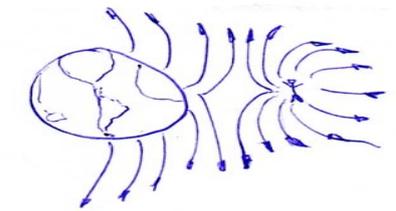


Figura 6.6 Producción gráfica del estudiante 31

En relación con la categoría funcionalidad (Fig. 6.7), entre los estudiantes que se desenvuelven correctamente, un 26% reproduce en su dibujo aquello que fue mencionado en el texto tratando de efectuar una representación como réplica de lo literal, un 10% actúa en forma operativa sobre el fenómeno citado y un 20% se desempeña de manera elemental representando una imagen básica.

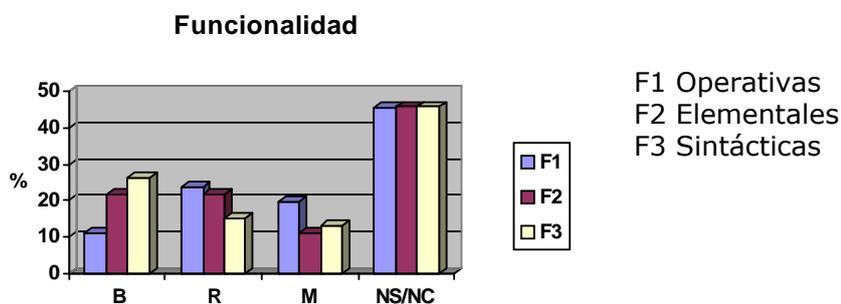
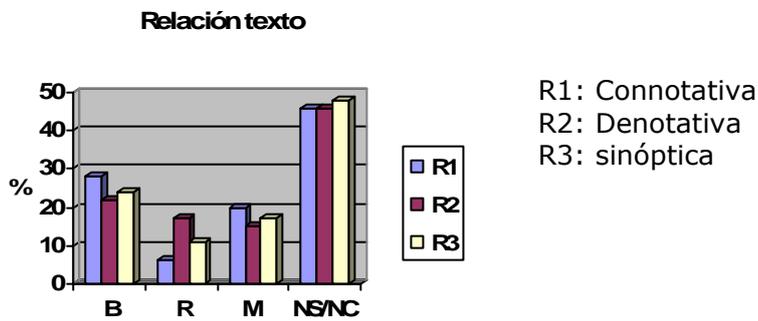
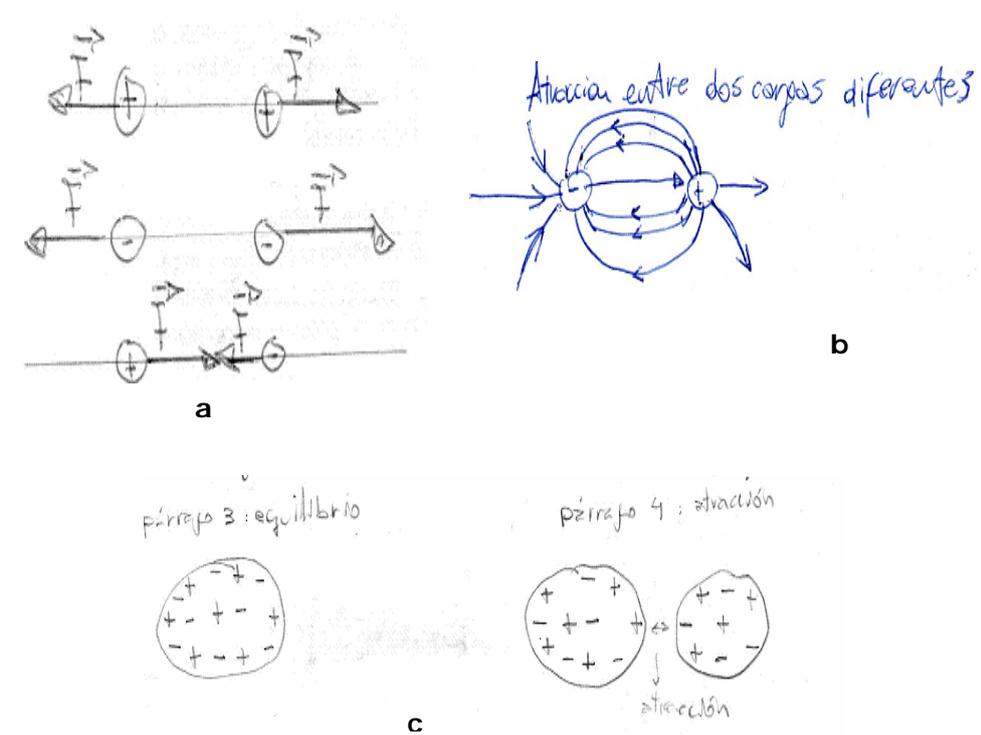


Figura 6.7. Distribución de modalidades de la categoría Funcionalidad



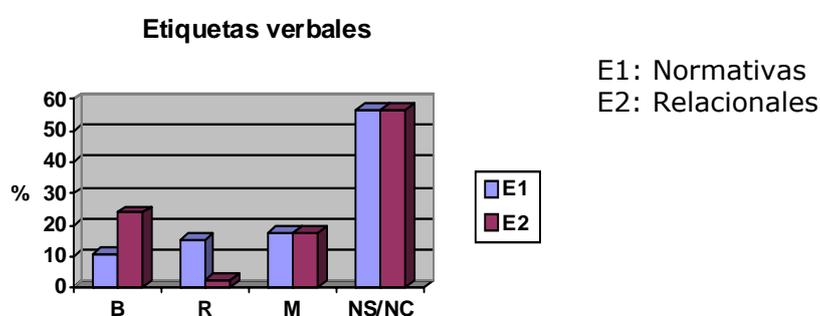
**Figura 6.8.** Distribución de modalidades de la categoría Relación con el texto principal



**Figura 6.9.** Producción gráfica del estudiante 20 (a) modalidad sinóptica, del estudiante 16 (b) modalidad denotativa y del estudiante 8 (c) connotativa

Las modalidades establecidas para analizar la categoría relación con el texto principal (Fig. 6.8) indican que, de los estudiantes que realizan adecuadamente las gráficas, el 28% conlleva otro significado al específico del texto, que está en referencia a los materiales utilizados en la clase (notas de clase y libros de texto) y a las explicaciones del docente (modalidad connotativa), un 22% expresa significados en forma básica (modalidad denotativa) y el 24% realiza una exposición general abstrayendo lo esencial del texto para formar un concepto principal que comprenda al texto aludido (modalidad sinóptica). Ejemplos de las mismas se muestran en la Figura 6.9.

En cuanto a la categoría etiquetas verbales (Fig. 6.10), de aquellos estudiantes que realizan correctamente el gráfico, el 24% ubica simplemente las etiquetas verbales, tales como: Fig.6.9(c) en conexión o enlace con el texto y el 10% define los usos correctos de las etiquetas verbales Fig. 6.9(a).

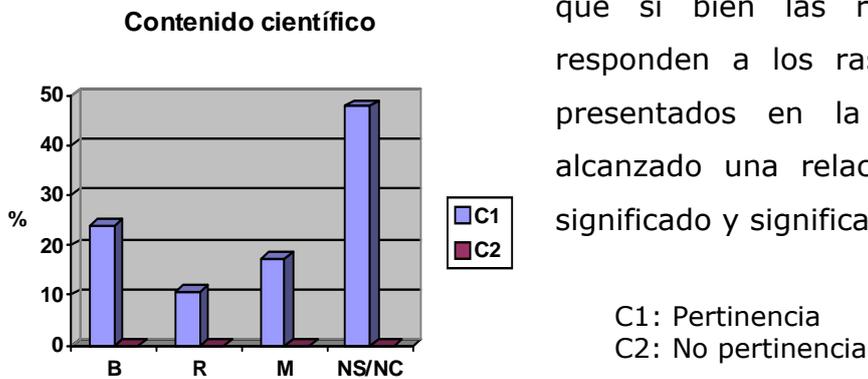


**Figura 6.10.** Distribución de modalidades de la categoría Etiquetas verbales

La categoría contenido científico (Fig. 6.11) que sustenta el gráfico de aquellos que lo realizan, muestra que el 24% es pertinente al texto y un 17% no lo es.

El análisis de la relación entre las categorías *grado de iconicidad* y *funcionalidad* (Tabla 6.10) muestra que el mayor porcentaje de frecuencia correcta del grado de iconicidad se presenta en el dibujo esquemático, y se corresponde con la modalidad sintáctica que sobresale en la categoría funcionalidad. Por un lado, la categoría funcionalidad responde a la actividad de aprendizaje en los estudiantes y sus modalidades demandan que el alumno tenga conocimiento de los elementos de la representación normalizada y que conozca normas específicas. El grado de iconicidad indica la complejidad de los dibujos, y exigen el conocimiento del código simbólico

específico. Este resultado sugiere que si bien las representaciones responden a los rasgos simbólicos presentados en la clase, se ha alcanzado una relación débil entre significado y significante.



**Figura 6.11.** Contenido Científico

**Tabla 6.10.** Frecuencias absolutas correspondiente al cruce entre las categorías *funcionalidad* y *grado de iconicidad*

		Funcionalidad		
		Operativas	Elementales	Sintácticas
Grado de iconicidad	Dibujo figurativo	5	7	7
	Dibujo esquemático	5	10	<b>12</b>
	Descripción en signos normalizados	5	6	7

El cruce entre las categorías etiquetas verbales y relación con el texto principal (Tabla 6.11), muestra que el mayor porcentaje de frecuencia correcta de la modalidad relacionales se corresponde con las modalidades connotativa y sinóptica. Según la teoría de Vergnaud (2007) esto tendría una capacidad simbólica importante poniendo en evidencia las categorizaciones efectuadas implícitamente en el curso de las actividades. La función del lenguaje es la comunicación y se apoya en la función de representación, lo que se representa son los elementos de la situación considerada, la acción y sus relaciones (Vergnaud, 1990). En este sentido, existe una adecuada representación del texto aunque aún es parcial.

**Tabla 6.11.** Frecuencias absolutas correspondientes al cruce entre las categorías *relación con el texto y etiquetas verbales*

		Relación con el texto		
		Connotativa	Denotativa	Sinóptica
Etiquetas verbales	Normativas	5	5	5
	Relacionales	<b>10</b>	8	<b>10</b>

Las ilustraciones analizadas incorporan el lenguaje simbólico propio del contenido tecnológico transmitido por los textos utilizados por el docente en la clase anterior y los gráficos e ilustraciones seleccionados a través de las filminas mostradas en la misma. El lenguaje que se pone en evidencia en las categorías las etiquetas verbales y la relación con el texto juegan un papel en la conceptualización y la acción puesta en evidencia en las justificaciones de los estudiantes (Vergnaud, 1990).

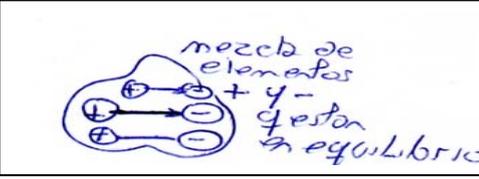
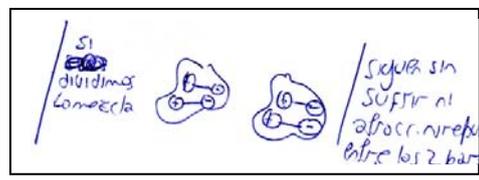
Esto está indicando una fuerte apuesta a la conexión entre la imagen y el texto del modo más lógico y sencillo y un menor uso de las figuras de construcción que aparecen en los textos científicos utilizados para dar a la expresión del pensamiento mayor contundencia.

---

**En síntesis:**

El estudio focalizado sólo en quienes realizan correctamente las representaciones gráficas relativas al texto, muestra que predomina el dibujo esquemático simple, con una funcionalidad elemental. Tales dibujos son connotativos remitiendo a gráficos vistos en libros de texto o en las notas de clase del profesor. Las etiquetas verbales utilizadas están relacionadas no específicamente con el texto sino con esquemas previos incorporados por los estudiantes a partir de la enseñanza recibida y que tienen pertinencia científica. Muchas de las representaciones gráficas analizadas tienen una explicitación de su contenido pero que es muy elemental y poco creativa en relación al texto escrito. En las mismas se han encontrado elementos que remiten a los textos utilizados en el curso y a los esquemas utilizados por el profesor en sus clases.

En las figuras 6.12 y 6.13 se muestran las producciones de dos estudiantes: uno en el que las justificaciones e interpretaciones son mínimas (estudiante 1) y el otro en las que se observa mayor riqueza comunicativa (estudiante 2). En las mismas se presentan, además, las modalidades asignadas de acuerdo con las Tablas 6.6 y 6.8.

<p>I<sub>1</sub>-describe información a la situación planteada en el texto</p> <p>A<sub>1</sub>- Plantea predicciones basándose en conceptos trabajados en clase.</p> <p>P<sub>1</sub>- NC</p> <p>R<sub>1</sub>- Existencia de justificaciones</p> <p>G<sub>1</sub>- Dibujo figurativo más signos</p> <p>F2- Elementales</p> <p>R<sub>1</sub>- Connotativa</p> <p>E1- Relacionales</p> <p>C<sub>1</sub>- Pertinente al texto</p>	 
--	--

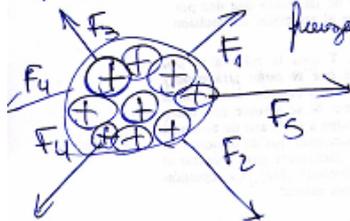
**Figura 6.12.** Producción gráfica del estudiante 1 en relación con cuarto párrafo del texto de Feynman, Leighton y Sands (1987). (Se señalan las modalidades que lo caracterizan)

Para comparar, son un más lejos, comparo con la fórmula de fuerzas eléctricas y de atracción gravitacional. Una plantea la interacción que se da en  $\neq$  cuerpo y la otra en la que se da para  $\neq$  cargas (cuando decimos  $\neq$  o no nos referimos al mismo signo o que son 2 cargas diferentes o hay más de 1)

d) Fuerza de atracción gravitacional: Fuerza de atracción eléctrica



conjunto de elementos  $\oplus$



fuerzas de repulsión variables y "braves"

conjunto intinamente ligados o enlazados entre sí:



Fuerza resultante = 0  
Fuerzas de unión relativamente grandes

Fuerzas de atracción resultante entre 2 cuerpos



$B_1 = B_2 =$  concentración de cargas  $\oplus$  y  $\ominus$

conclusión que las fuerzas de atracción puede ser  $>$  que las

c) Si bien son conceptos paralelos podemos plantear semejanzas en el tipo de fuerza que se origina. Como la fuerza gravitatoria es únicamente de atracción y no de repulsión, no podemos compararla con las fuerzas de atracción eléctricas. La semejanza se da principalmente en la interacción de 2 o más cuerpos en los cuales dicha interacción produce las fuerzas del tipo anteriormente descritas, recordando que las fuerzas eléctricas pueden ser de repulsión cuando las cargas son de igual signo.

I<sub>3</sub>- Describe información correspondiente a la situación, planteada en el texto estableciendo relaciones entre las variables, confrontando los datos e identificando situaciones dadas usando justificaciones para su explicación.

A<sub>3</sub>- Realiza predicciones basándose en conceptos trabajados en clase y plantea afirmaciones para justificar e interrelacionar ideas que presenta a través de un discurso con sentido.

P<sub>4</sub> - Estrategias de adquisición, codificación y recuperación de la información

R<sub>4</sub>- Recursos de comparación de soluciones

G<sub>1</sub>- Descripción de signos normalizados

F<sub>3</sub>- Sintácticas

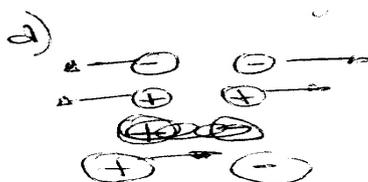
R<sub>2</sub>- Denotativa

Figura 6.13. Producción gráfica del estudiante 2 en relación con 4º párrafo del texto de Feynman, Leighton y Sands (1987). (Se señalan las modalidades que lo caracterizan)

---

El aprendizaje de conceptos científicos supone la modificación de esquemas y, consecuentemente, la reestructuración y el enriquecimiento de los modelos mentales que los estudiantes generan como fuentes de los mismos. Si el estudiante ha construido un esquema, entonces cabe suponer que lo usa ante una situación nueva como leer un texto e interpretarlo. Parafraseando a Vergnaud (2007) un esquema de asimilación es la organización invariante de la conducta e incluye invariantes operatorios, siendo una estructura mental que goza de estabilidad.

En esta etapa de la indagación evaluativa se pudo observar de las representaciones gráficas realizadas por los estudiantes, que dan indicios de la aplicación de invariantes operatorios asociados con la noción de interacción eléctrica desde un esquema coulombiano. Se observa que ellos remiten a las representaciones de los libros de textos y a los esquemas que el docente desarrolla en el pizarrón previamente, otras resultan de una elaboración personal escasa. El hecho que, en el estudio de las respuestas a los ítems (b) y (c) se hayan identificado respuestas correctas donde prevalece fuertemente la categoría *interpretativa* y que sólo 22 estudiantes efectuaron representaciones gráficas respondiendo al ítem (d) del protocolo, señala que el aprendizaje alcanzado por el grupo en estas primeras clases es aún incipiente. Da cuenta de esto la figura 6.14 correspondiente al estudiante 9, que intenta representar las fuerzas que mantienen juntos a los átomos son fuerzas eléctricas. Esto se sustenta en el criterio formulado por Rodríguez y Moreira (2002) para quienes desarrollar conocimiento es construir representaciones mentales que dan cuenta de lo real, que se termina conceptuando a través de esquemas.



**Figura 6.14.** Producción gráfica del estudiante 9

#### **6.4.2. FASE II: Análisis de la resolución de una situación problemática con diferentes enunciados**

El estudio evaluativo de la intervención didáctica se centró en el análisis de la modelización que realizaron los estudiantes frente a actividades que plantea el concepto de campo eléctrico  $E$  y los significados elaborados por ellos a partir de la implementación de la propuesta. En esta etapa es fundamental el lenguaje del estudiante ya que se considera que, además de la doble función de comunicación y representación, tiene una función como ayuda del pensamiento. Esto implica que un estudiante frente a un enunciado debe verbalizar lo que está haciendo con el propósito de planificar y controlar las acciones que no domina completamente. Esto lo hace a través de diagramas, representaciones gráficas (vectores, líneas de campo, gráficas funcionales, etc.) para la transformación de las categorías del pensamiento en objetos del mismo. Así, la invariancia del significante contribuye a una identificación del significado y a su transformación en objeto de pensamiento. Pero la pertinencia del simbolismo y del lenguaje es relativa a los conocimientos y al desarrollo cognitivo del alumno. En particular en el contexto del estudio evaluativo, la clave para el análisis sobre el aprendizaje del concepto de campo eléctrico  $E$  está en considerar la actuación del estudiante en situación y la organización de sus actos. El protocolo de intervención consistió en un enunciado de una situación problemática que consiste en disponer cuatro cargas de igual magnitud en los vértices de un cuadrado. Para la solución de la misma se debe apelar a los conocimientos previos y a los nuevos adquiridos: sistema de coordenadas cartesianas apropiado para analizar el problema, representación gráfica, cálculo de la fuerza sobre las cargas y tipo de equilibrio.

El interés de la intervención reside en que las situaciones problemáticas requieren ser simplificadas, modelizadas, definidas operativamente, precisando cuál es el problema, haciendo énfasis en el análisis cuali-

---

cuantitativo. Los estudiantes deben partir de sus conocimientos y plantear hipótesis que deben ser puestas a prueba construyendo respuestas posibles a la situación planteada. En este estudio interesa evaluar: (a) la completitud con que se organizan las diferentes configuraciones de carga teniendo en cuenta el carácter vectorial de la fuerza eléctrica y del campo eléctrico y (b) la influencia en los procedimientos de la forma en que se presentan los datos en el enunciado.

**Sujetos:** 20 estudiantes que estuvieron presentes en la clase prevista para la aplicación del instrumento, de asistencia no obligatoria. (Los alumnos no fueron previamente avisados de la actividad evaluativa).

**Metodología:** Los estudiantes se distribuyeron espontáneamente en cuatro grupos entregándose a cada uno de éstos un texto con la situación a resolver con un formato diferente. Se les indicó que expresaran sus ideas por escrito y realizaran los gráficos con el máximo de aclaraciones para la comprensión de los mismos.

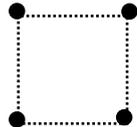
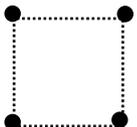
Se analizaron las resoluciones que cada uno de los grupos realizó de la situación en función del tipo de enunciado recibido. Las producciones de los estudiantes se analizaron desde la perspectiva de la teoría de Vergnaud, identificando los invariantes operatorios (conceptos-en-acción y teoremas-en-acción) y los conocimientos asociados que se supone deberían estar presentes en el momento de resolver las cuatro situaciones problemáticas planteadas, desde un saber experto.

Las producciones de los estudiantes, una vez acordados los criterios, fueron analizadas por separado por la tesista, el profesor del curso y la codirectora, recurriendo a la triangulación de especialistas.

**Instrumento:** La situación problemática se presenta en la Tabla 6.11, con los cuatro formatos de enunciados diferentes utilizados en el estudio, en función de dos variables: tipo de datos (cuantitativos descriptivos o cualitativos) y gráfica complementaria (presencia o ausencia). Las cuatro

consignas, que se muestran en la última fila, fueron comunes a las cuatro situaciones indicadas.

**Tabla 6.11.** Enunciado de situaciones problemáticas con cuatro formatos distintos

Situación 1 Datos cualitativos con gráfica	Situación 2 Datos cualitativos sin gráfica	Situación 3 Datos cuantitativos sin gráfica	Situación 4 Datos cuantitativos con gráfica
<p>Se tienen 4 partículas con cargas eléctricas de igual valor absoluto. Se hallan ubicadas en los vértices de un cuadrado</p> 	<p>Se tienen 4 partículas con cargas eléctricas de igual valor absoluto. Se hallan ubicadas en los vértices de un cuadrado</p>	<p>Se tienen 4 partículas con carga (<math> q  = 5 \cdot 10^{-13} \text{C}</math>) ubicadas en los vértices de un cuadrado de lado 10cm.</p>	<p>Se tienen 4 partículas con carga (<math> q  = 5 \cdot 10^{-13} \text{C}</math>) ubicadas en los vértices de un cuadrado de lado 10cm</p> 
<p>a- Realice una representación de las distintas configuraciones espaciales de cargas con todas las posibilidades de signos de las cargas a adoptar.</p> <p>b- Analice y fundamente en qué punto o puntos colocarías una carga de prueba de modo que la fuerza resultante sobre la misma sea nula.</p> <p>c- Analice el tipo de equilibrio que experimenta la carga de prueba en cada caso.</p> <p>d- Calcule el campo eléctrico en el centro de las cuatro cargas.</p>			

**Resultados:** La información recabada se presenta en la tabla 6.12, donde se transcriben los posibles conceptos-en acción y los teoremas-en-acción inferidos a partir de las producciones de cada grupo de estudiantes. En la primera columna se indica el número asignado al grupo, el tipo de enunciado sobre el que trabajó y un comentario que sintetiza las actuaciones del grupo durante la resolución.

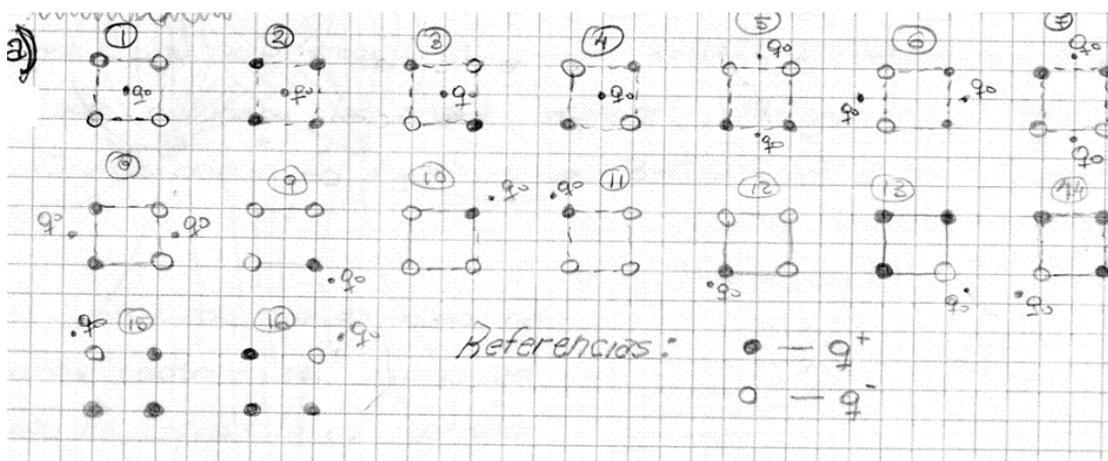
**Tabla 6.12.** Conceptos-en-acción, y teoremas-en-acción detectados en la resolución de las situaciones de la Tabla 6.11

Grupo	Invariantes operatorios	
	Conceptos-en-acción	Teoremas-en-acción
<p>1</p> <p><u>Situación:</u> <u>Cualitativa con gráfico</u></p> <p>Comentarios: Reconocimiento de las configuraciones atendiendo a los signos y cantidad decreciente de las cargas componentes de un cierto signo (4, 3 y 2). Realización de inferencias introduciendo un criterio de equilibrio.</p>	<p>carga de prueba.</p> <p>equilibrio de fuerzas.</p> <p>líneas de campo</p> <p>flujo de <b>E</b>.</p> <p>representación <b>E</b>.</p> <p>Dipolo eléctrico.</p>	<p>-Existen diferentes configuraciones de carga que se organizan ordenadamente: las cuatro cargas iguales, la mitad de las cargas de distinto signo, una carga de signo opuesto a las otras tres.</p> <p>-Configuraciones simétricas a las anteriores no se necesitan analizar por ser equivalentes</p> <p>-La carga de prueba se debe ubicar en un punto donde las fuerzas se equilibren.</p> <p>-Para una superficie gaussiana que encierre las 4 cargas (2 positivas, 2 negativas no alternadas) el <b>E</b> es nulo.</p> <p>-El equilibrio será estable cuando perturbada la carga de prueba con una fuerza externa las demás cargas la harán volver a su estado inicial.</p> <p>-El efecto de una carga eléctrica se siente en la región que la rodea.</p> <p>-El efecto de la carga eléctrica depende del signo de la carga de prueba.</p> <p>-El efecto de la carga se reduce con el aumento de la distancia.</p> <p>-Las fuerzas resultantes sobre las cargas en los vértices del cuadrado debido a las cargas más próximas definen el equilibrio.</p>
<p>2</p> <p><u>Situación:</u> <u>cualitativa sin gráfico</u></p> <p>Comentarios: Reconocimiento de las configuraciones atendiendo a los signos y cantidad de las cargas</p>	<p>carga de prueba.</p> <p>configuración espacial central y diagonal.</p> <p>fuerza eléctrica.</p> <p>superficie</p>	<p>-Existen diferentes configuraciones de carga que se organizan ordenadamente por su cantidad y signo: las cuatro cargas iguales, la mitad de las cargas de distinto signo, una carga opuesta a las otras tres.</p> <p>-Las cargas se repelen entre sí, hasta que la distancia sea tan grande entre ellas que no exista más fuerza de repulsión. En el centro de simetría de la</p>

<p>componentes (4, 3 y 2) sin diferenciarlo por la ubicación espacial (simetrías y rotaciones). Omisión de 3 negativas 1 positiva.</p> <p>Realización de inferencias no introduciendo un criterio de simetría.</p>	<p>gaussiana. dipolo eléctrico. equilibrio de fuerzas. centro de simetría.</p>	<p>figura, la carga de prueba experimenta fuerzas debido a las cargas de los vértices, pero la resultante es nula.</p> <p>-La carga experimenta equilibrio estable porque las fuerzas de repulsión son restitutivas, es decir, ante una pequeña perturbación, la fuerza tiende a desplazar el cuerpo a la posición de equilibrio</p> <p>-En el cuadrado delimitado por las 3 cargas positivas y una negativa, el campo es distinto de cero, pues la mayoría de las líneas de campo se dirigen hacia la carga negativa.</p> <p>-Existirá al menos un punto donde la fuerza resultante es nula dentro de la superficie gaussiana.</p>
<p>3</p> <p><u>Situación cuantitativa sin gráfico</u></p> <p>Comentarios:</p> <p>Reconocimiento de las configuraciones atendiendo a los signos y cantidad de las cargas componentes (4, 3 y 2) sin diferenciarlo por la ubicación espacial (simetrías y rotaciones). Omisión de 4 positivas.</p> <p>Realización de inferencias introduciendo un criterio de simetría.</p>	<p>cargas. configuración espacial. diagonal del cuadrado. líneas de campo. fuerza eléctrica. campo <b>E</b>. dipolo. cuadripolo superficies gaussianas. vectores <b>E</b>.</p>	<p>-Existen diferentes configuraciones de carga: 4 negativas, 1 sola negativa, 2 cargas positivas y dos negativas contiguas y luego cruzadas.</p> <p>-Las cargas negativas son inestables, las cargas positivas estables.</p> <p>-Para todos los casos se sabe que las cargas tienen la misma magnitud absoluta</p> <p>-La configuración de cargas se puede pensar como cuatro dipolos, luego conviene representar las líneas de campo de cada dipolo.</p> <p>-La concentración de líneas de campo es mayor sobre la carga compartida por dos dipolos contiguos.</p> <p>-Tomando superficies gaussianas que encierren las cuatro cargas, dos positivas y dos negativas, obtendríamos dentro de esa superficie una carga neta. Por ende, en cualquier punto de esa superficie gaussiana la fuerza resultante será nula.</p> <p>-Cuando la diagonal es un eje de simetría de cargas en el centro del cuadrado la <math>F_R = 0</math></p>
<p>4</p> <p><u>Situación:</u></p>	<p>cargas. configuración</p>	<p>-Existen configuraciones que se pueden organizar considerando desde todas las cargas positivas y reduciendo el número</p>

<p><u>cuantitativa con gráfico</u></p> <p>Comentarios:</p> <p>Reconocimiento de las configuraciones atendiendo a los signos y cantidad de las cargas componentes (4, 3 y 2) y sin diferenciarlo por la ubicación espacial de las rotaciones. Omisión de 3 positivas y 1 negativa y algunas configuraciones rotadas.</p> <p>Realización de inferencias introduciendo un criterio de simetría.</p>	<p>espacial.</p> <p>diagonal en cuadrado.</p> <p>líneas de campo.</p> <p>fuerza eléctrica.</p> <p>campo <math>E</math>.</p> <p>dipolo</p> <p>cuadripolo.</p> <p>vectores de <math>E</math>.</p>	<p>de éstas hasta que sean todas negativas.</p> <p>-Al rotar una distribución de carga aparece otra configuración.</p> <p>-El centro geométrico de un cuadrado se encuentra la intersección de las diagonales.</p> <p>-Las líneas de <math>E</math> son radiales y salientes si las cargas son positivas y se curvan por presencia de otras cargas.</p> <p>-Las formas de las líneas de campo para cargas negativas son entrantes con la misma forma independientemente de la carga.</p> <p>-Las fuerzas de igual módulo y distinto sentido se equilibran.</p> <p>-El campo en el centro es la resultante debido a la superposición de las líneas de <math>E</math> de 4 dipolos.</p>
--	---	---

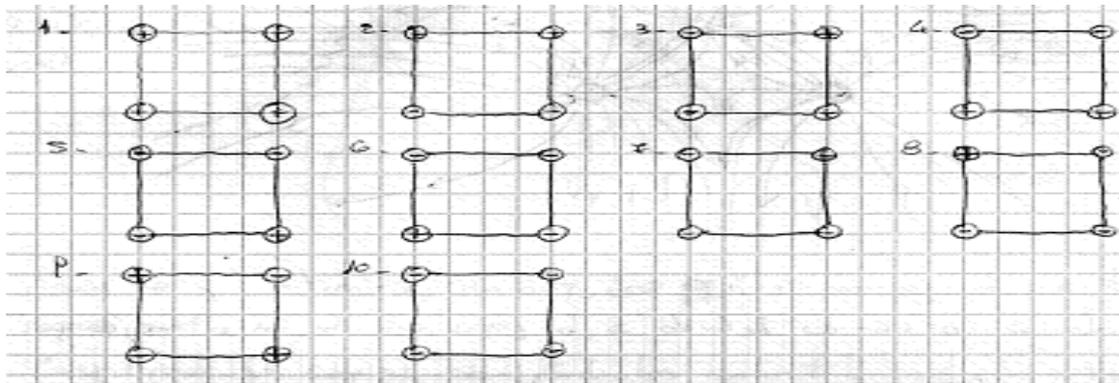
Los cuatro grupos realizaron gráficas de las distintas configuraciones solicitadas en la pregunta (a) pero sólo el grupo 3 graficó todas las configuraciones posibles (figura 6.13).



**Figura 6.13.** Representación de las distintas configuraciones de cargas realizadas por el grupo 3 para el ítem (a) de la tabla 6.11

El grupo 3 dibuja las configuraciones organizando desde aquella en la que todas las cargas son positivas, pasando a todas negativas y luego por combinaciones de dos positivas a dos negativas rotando, hasta concluir en tres positivas tres negativas y las posibles rotaciones.

La figura 6.14 es la representación efectuada por el grupo 4 que reconoció diez configuraciones correspondientes a las diferentes posibilidades de inclusión de las cargas por su signo y cantidad, pero que no reconocieron que una rotación de las cargas genera diferencias en la orientación del campo eléctrico si bien su intensidad se conserva.



**Figura 6.14.** Representación de las distintas configuraciones de cargas realizadas por el grupo 4 para el ítem (a) de la tabla 6.11

Para el ítem (b) que pide analizar y fundamentar en qué punto o puntos se colocaría una carga de prueba de modo que la fuerza resultante sobre la misma sea nula, los grupos 1 y 2 realizan el estudio colocando una carga de prueba en el centro del cuadrado y mediante un análisis de fuerzas. La figura 6.15 corresponde a la representación realizada por el grupo 2.

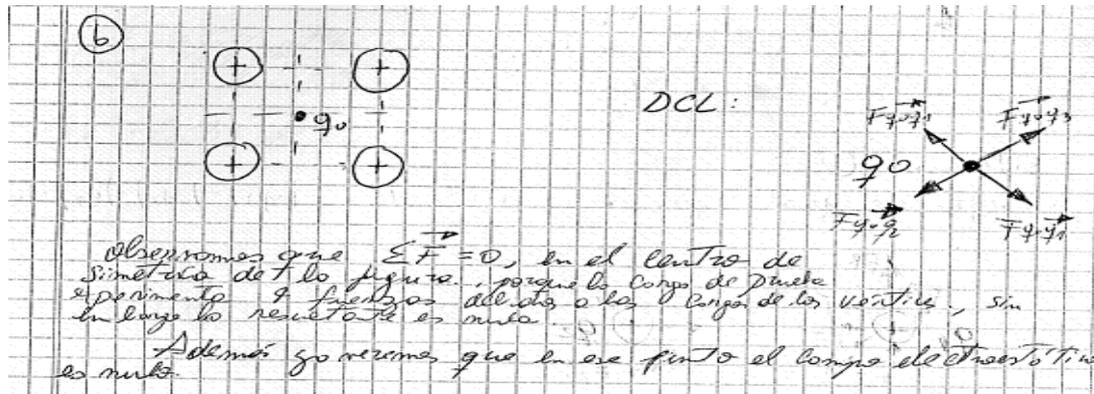


Figura 6.15. Representación del grupo 2 para el ítem (b) de la tabla 6.11

El texto que acompaña la representación realizada por el grupo 3 (Fig. 6.16) destaca erróneamente que las cargas negativas son inestables y las cargas positivas estables.

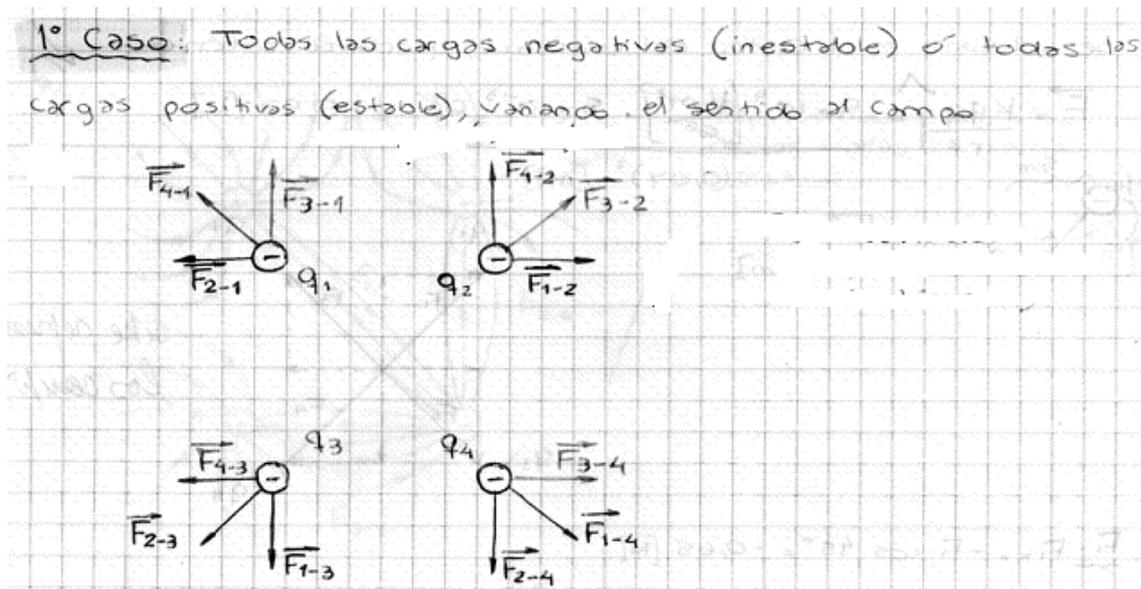
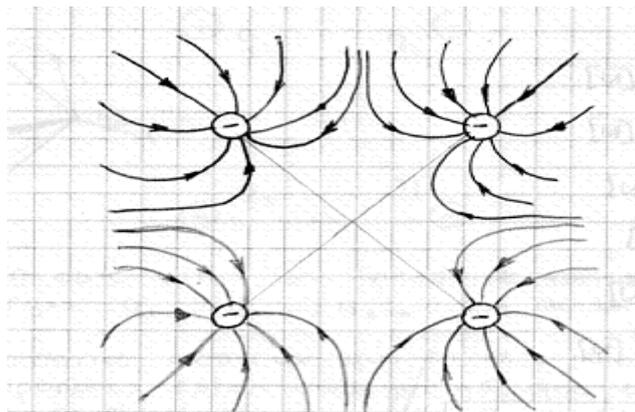


Figura 6.16. Representación del grupo 3 para el ítem (b) de la tabla 6.11

Las representaciones gráficas son conceptualmente correctas ya que se reconocen las interacciones eléctricas sobre cada carga, pero no se determina la fuerza resultante que fuera solicitada.

En la figura 6.17 el grupo 1 realiza la representación gráfica de las líneas de campo eléctrico sin considerar qué sucede en el centro y en el interior del cuadrado con el campo eléctrico  $\mathbf{E}$ .

Se ha observado un esfuerzo importante por representar el campo eléctrico  $\mathbf{E}$  mediante el trazado de líneas de campo -pregunta b- siguiendo las pautas para su construcción. Un aspecto significativo encontrado es que el 60% de los alumnos interpretan que sólo hay campo  $\mathbf{E}$  en los alrededores de las cargas y no explicitan lo que sucede en el centro del cuadrado y en el interior del mismo. Esto podría deberse a que los estudiantes trazan un número finito de líneas de campo que básicamente excluyen en el interior del la región cuadrada como se observa en la Fig. 6.17.



**Figura 6.17.** Representación del grupo 1 para el ítem (d) de la tabla 6.11

En la figura 6.18, realizada por el grupo 2 para los ítems c y d de la tabla 6.11, se representan las líneas de campo eléctrico y su relación con el campo eléctrico  $\mathbf{E}$  de una región del espacio, sin considerar que las líneas no se cortan.

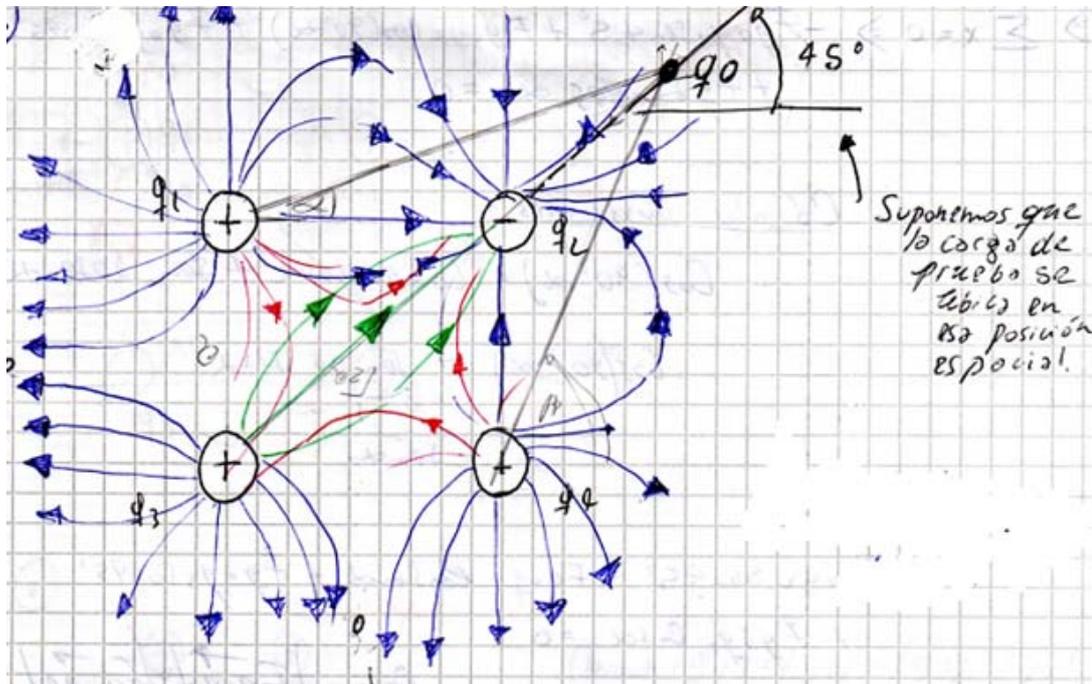


Figura 6.18. Representación de las líneas de campo  $E$  realizada por el grupo 2

Otra dificultad reside en que la representación se realiza en dos dimensiones y la situación es tridimensional. Dos de los grupos no establece para las distintas configuraciones donde colocaría una carga de prueba para que la fuerza resultante sea nula. Aparece un marcado operativismo matemático para analizar el tipo de equilibrio que experimenta una carga de prueba en cada caso, tal como se muestra en la figura 6.19.

En cuanto a las relaciones operacionales y funcionales entre el campo  $E$  y otras magnitudes como carga  $Q$  y posición  $r$ , los cuatro grupos reconocen y asumen que alrededor de cualquier configuración de cargas hay un campo, asocian la intensidad del campo  $E$  en cada punto con la fuerza ejercida sobre una partícula exploradora  $F = qE$ . Representaron adecuadamente la situación reconociendo al concepto de  $E$  como una función vectorial e identificando sus características, dando evidencia que el concepto de fuerza asociado a campo eléctrico está anclado adecuadamente.

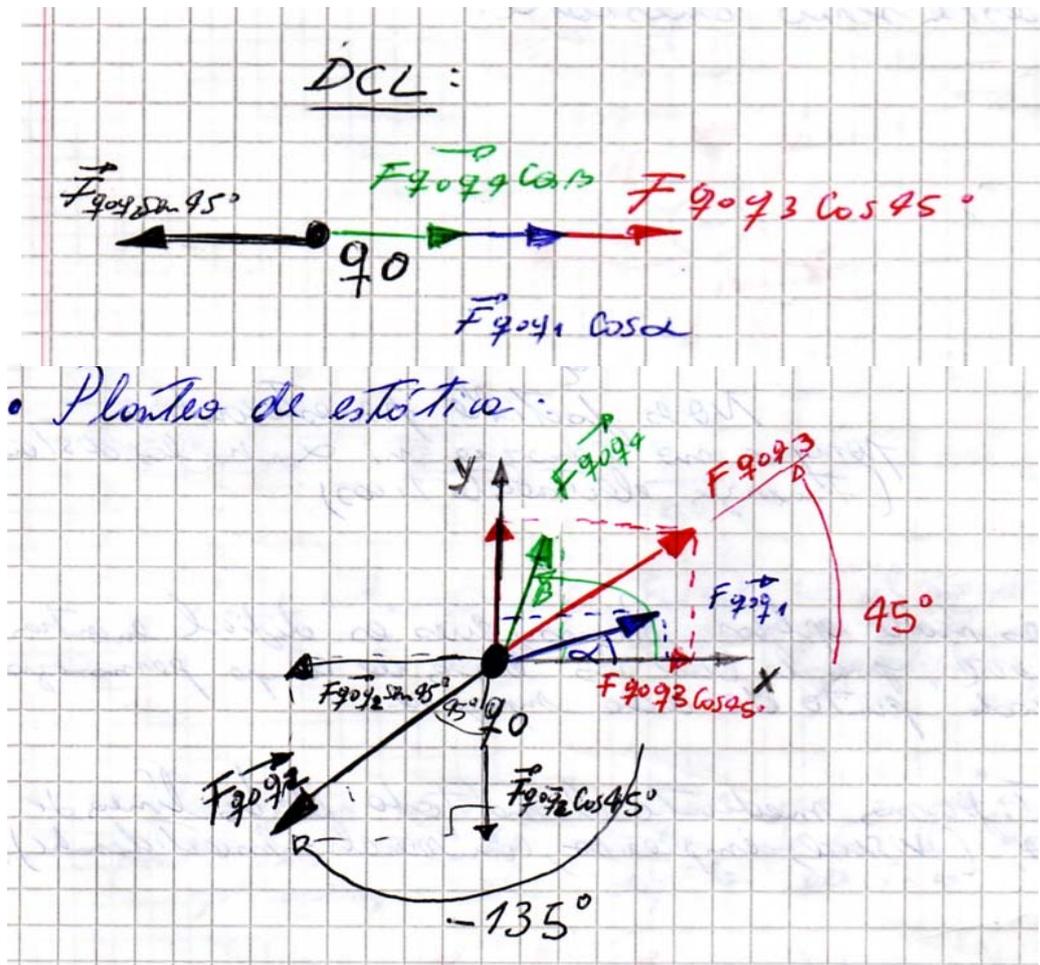


Figura 6.19. Representación vectorial de la fuerzas en presencia de la carga de prueba  $q_0$  elaborado por el grupo 2

**En síntesis:**

Lo más destacado de este análisis es el uso de conceptualizaciones del dominio teórico, que los estudiantes aplican a las situaciones problema propuestas. Se observa que cada grupo acomoda su estructura conceptual y consensúa significados, y los adapta a la nueva situación. Los invariantes operatorios que ponen en juego los estudiantes evidencian la comprensión del carácter vectorial del campo eléctrico y su relación con la fuerza eléctrica, es decir, denotan que se van articulando con los invariantes anteriormente formados. La función de conceptualización por los invariantes

---

operatorios es, por lo tanto, crucial para comprender que los esquemas son el lugar central de adaptación a la situación planteada. Sin embargo, en general, se observa a través de las producciones de los estudiantes que es un invariante operatorio *la dependencia del campo eléctrico con los signos de las cargas eléctricas*, más que con su ubicación espacial. En los casos en que se reconocieron mayor cantidad de configuraciones de carga, *la simetría de cargas* se constituye en un invariante operatorio para organizar las configuraciones excluyéndose básicamente *la rotación de cargas*.

El comportamiento de los cuatro grupos es semejante cuando se les solicita que realicen una representación de las distintas configuraciones espaciales de cargas con todas las posibilidades de signos de las cargas a adoptar, comienzan por cuatro cargas positivas y luego cuatro negativas, siguen con dos cargas positivas y dos negativas pero en forma aleatoria sin seguir consideraciones de rotación o simetría.

Se ha encontrado que los grupos 1, 2 y 3 adoptan un esquema coulombiano respecto del equilibrio eléctrico, el grupo 4 analiza la situación problemática considerando que el campo eléctrico en el punto en el espacio donde se coloca la carga de prueba es creado por otras cargas y, por lo tanto, el valor de la carga de prueba en el espacio no depende del valor de la carga colocada en el campo, dando cuenta de un perfil de tipo maxwelliano.

El estudio ha puesto en evidencia que los integrantes del grupo 3 emplean el concepto-en-acción *estabilidad* asociado al signo de las cargas para analizar las configuraciones. Asociaron las cargas negativas a situaciones inestables y las positivas a situaciones estables. Esta afirmación fue discutida entre la tesista y el docente, ya que en ningún momento de la intervención didáctica hubo algún comentario de los estudiantes al respecto. Cuando se les preguntó al grupo en cuestión comentaron que tenían esa idea del *secundario*. Se presenta, a continuación, un segmento de su producción donde dan cuenta de la estabilidad como concepto-en acto.

### 6.4.3. FASE III: Análisis de enunciados de una guía de cuestiones

En la instancia de indagación evaluativa (clase 8 en la Tabla 6.2) interesó analizar y evaluar el nivel de conceptualización individual de cada estudiante sobre campo eléctrico y potencial eléctrico, en el sentido descrito en el marco teórico y en los criterios para la organización específica de esta fase.

Esta actividad posibilitó el seguimiento del grupo de estudiantes, evaluando los conocimientos que se supone deberían estar presentes en el momento de resolver las cinco cuestiones propuestas.

**Sujetos:** participaron de esta actividad 42 estudiantes que concurrieron a la clase en que fue aplicado el instrumento. Los alumnos fueron previamente avisados de la actividad evaluativa.

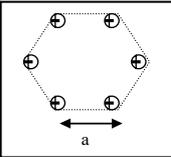
**Metodología:** Se analizaron los significados elaborados por los estudiantes, desde la mirada de los campos conceptuales de Vergnaud, frente a las situaciones de la tabla 6.13, en forma individual para efectuar una evaluación de la comprensión de los contenidos.

Se procedió a la lectura y análisis de las producciones escritas de los estudiantes, buscando inferir los posibles invariantes operatorios utilizados. En los casos donde la interpretación fue dudosa por la ambigüedad del texto, se apeló a realizar una entrevista con el estudiante.

**Instrumento:** Considerando que no se contaba con un instrumento para obtener información, se procedió a la elaboración del mismo utilizando el formato de la guía utilizada en la Fase III, basado en cuestiones que requerían la aplicación de los conceptos desarrollados en las clases.

Las consignas se orientaron para obtener información sobre los procedimientos de análisis, de cálculo y de representación.

**Tabla 6.13.** Instrumento para evaluar los aprendizajes individuales de los estudiantes

<p><u>Situación 1</u>- Una esfera conductora de 1 cm de radio posee distribuida cargas. A dicha esfera se la rodea totalmente por un cascarón conductor delgado de 8 cm de radio interior y cargado negativamente, siendo la diferencia de potencial entre la esfera y el cascarón de +1000 V.</p> <p>Explique y justifique qué se puede afirmar sobre el campo eléctrico y el potencial eléctrico en el interior de la esfera conductora menor.</p>
<p><u>Situación 2</u>- Explique los criterios que utiliza para representar el campo mediante el trazado de líneas de campo y el potencial eléctrico mediante superficies equipotenciales y la relación entre ambas.</p>
<p><u>Situación 3</u>- Realice una representación gráfica del campo y del potencial eléctrico y caracterícelo: para un dipolo eléctrico y para una placa plana conductora, cargada uniformemente y muy grande.</p>
<p><u>Situación 4</u>- Para las cargas iguales que se hallan alojadas en las intersecciones de cada lado del hexágono de lado "a" que muestra la figura:</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="margin-right: 20px;">  </div> <div> <p>a- Explique y aplique la ley de Gauss para tres superficies diferentes en donde se halla el hexágono.</p> <p>b- Calcule el campo y el potencial eléctrico en el centro de la figura. Si se coloca una carga de prueba en dicho centro, ¿podrá hallarse en equilibrio estable? Justifique.</p> <p>c- Explique las condiciones bajo la cual es posible obtener la expresión del campo eléctrico mediante la aplicación de la ley de Gauss.</p> </div> </div>
<p><u>Situación 5</u>- Explique dónde reside la densidad de energía eléctrica en un condensador cargado de láminas plano paralela y cuál es el factor limitante de la cantidad de energía a almacenar.</p>

En la tabla 6.13 se presenta el protocolo con las situaciones a analizar por los estudiantes. Este instrumento fue validado recurriendo previamente a una aplicación de prueba con un curso de Física Eléctrica de la UTN-FRSF de Ingeniería Eléctrica.

**Resultados:** En la tablas 6.14 a 6.18 se detallan los invariantes operatorios (conceptos-en-acción, teoremas-en-acción y reglas de acción) que pudieron ser inferidos en las actuaciones de los estudiantes al abordar cada

una de las situaciones. El número de alumnos que muestran semejanzas en los teoremas-en-acción y reglas en acción aplicados se indican entre paréntesis en las columnas correspondientes.

**Tabla 6.14.** Invariantes operatorios y reglas de acción inferidas de la resolución de la Situación 1

Invariantes operatorios		Reglas de acción
Conceptos-en-acción	Teoremas-en-acción	
campo eléctrico  superficie gaussiana  potencial eléctrico  conductor flujo eléctrico  $\Phi_E = \oint E \cdot dS$	<u>Sobre la Ley de Gauss</u> - La ley de Gauss es una relación de igualdad entre el flujo eléctrico y la carga neta encerrada por la superficie donde se evalúa el campo. (16) - Las cargas eléctricas de un conductor se distribuyen sobre la superficie. (7)	- Si no hay carga encerrada (en la superficie gaussiana esférica) entonces no hay campo <b>E</b> . (9) - Si las cargas se distribuyen uniformemente en la superficie conductora, el campo en su interior es cero. (5)
	<u>Sobre el valor del campo:</u> - El campo <b>E</b> en el interior de un conductor vale cero. (16) - En el interior de la esfera menor no existe ni campo ni flujo eléctrico y tampoco potencial. (7)	- Si se toma una superficie gaussiana cerrada en el interior del conductor, entonces el campo será nulo si no encierra cargas esa superficie. (2) - El campo eléctrico en el interior del conductor es cero si las cargas se distribuyen uniformemente en la superficie. (10) - El campo en el interior de la esfera es cero ya que si fuera distinto de cero habría un trabajo sobre las cargas interiores. (8).
	<u>Sobre la variación del campo:</u> -El campo <b>E</b> es función del radio (18) -El potencial eléctrico se mantiene constante en el interior de la esfera. (19)	- El campo vale cero cuando hay un máximo, luego varía inversamente al cuadrado de la distancia, luego vuelve a cero en el cascarón y vuelve a variar con la inversa del cuadrado. (18)

En las actuaciones de los estudiantes al abordar la resolución de la situación 1 y teniendo en cuenta las reglas de acción e invariantes operacionales

mostrado en la Tabla 6.14, se evidencia la activación de un esquema trabajado para el campo eléctrico de una distribución con simetría esférica y una aplicación implícita de la ley de Gauss, dado que la mayoría de los estudiante no procede al cálculo del flujo eléctrico ni a un análisis de la inducción de cargas sobre el cascarón conductor externo.

**Tabla 6.15.** Invariantes operatorios y reglas de acción inferidas de la resolución de la Situación 2

Invariantes operatorios		Reglas de acción
Conceptos-en-acción	Teoremas-en-acción	
campo eléctrico potencial eléctrico vector campo componentes escalares del $E$ líneas de campo eléctrico superficies equipotenciales	<u>Relativo a la representación del campo eléctrico:</u> - Para representar las líneas de campo se debe conocer el signo de la carga. (15) - La separación entre las líneas de campo depende de la intensidad del campo eléctrico. (11) - El $E$ se representa mediante líneas de campo eléctrico, cuyo punto posee la misma dirección y sentido del vector $E$ . (10) - Las líneas de campo nunca se cruzan. (9) - Las líneas de campo externas están generadas por las cargas de la esfera y el cascarón.	- Las líneas de campo son salientes y perpendiculares a la superficie cargada cuando la carga es positiva y entrante cuando la carga es negativa. (29) - Si el campo $E$ dentro de la esfera conductora es uniforme se puede afirmar que la dirección de las líneas de campo $E$ son salientes. (6) - Las superficies equipotenciales muestran que si las cargas son de igual magnitud, el campo será constante alrededor de los anillos. (16)
	<u>Relativo al potencial eléctrico</u> - Las superficies equipotenciales son círculos concéntricos que rodean la carga y van de mayor a menor potencial. (7) - El potencial eléctrico dentro de un conductor no necesariamente vale cero. (16)	

Las referencias realizadas por los estudiantes dan evidencias de la activación de un esquema asociado a las configuraciones de campo eléctrico

y de superficies equipotenciales correspondiente a una carga puntual. Si bien existe el reconocimiento de la orientación de las líneas de campo eléctrico, la misma remite básicamente a una cuestión nemotécnica (de la carga positiva a la negativa) más que a la consideración del carácter vectorial del campo eléctrico.

**Tabla 6.16.** Invariantes operatorios y reglas de acción inferidas de la resolución de la Situación 3

Invariantes operatorios		Reglas de acción	
Conceptos-en-acción	Teoremas-en-acción		
campo eléctrico potencial eléctrico líneas de campo vector <b>E</b> componentes escalares de un vector. dipolo. líneas equipotenciales	<u>En relación con el campo eléctrico:</u> - Las líneas de campo eléctrico van de la carga positiva a la carga negativa. (15) - En un dipolo eléctrico el campo <b>E</b> no es constante. - El campo <b>E</b> de una placa es uniforme cerca de ella si la placa tiene una densidad de carga uniforme. (6)	- Si las líneas de campo van de la carga positiva a la carga negativa este es un dipolo. (27) - Si la placa es muy grande (sin considerar los bordes) y está cargada positivamente, las líneas de campo son paralelas, perpendiculares a la placa y salientes. (12)	
	<u>En relación con el potencial eléctrico:</u> - Las superficies equipotenciales de dipolo no son esféricas. (4) - Las superficies equipotenciales de una placa son superficies iguales y paralelas a la placa. (15)		- Si las superficies equipotenciales son plano-paralelas, la placa es una superficie equipotencial. (10) - En un dipolo es el potencial mayor si hay una mayor proximidad de las superficies equipotenciales. (10)
	<u>Vinculación entre el campo eléctrico y el potencial:</u> - El campo <b>E</b> en una placa cargada conductora, es constante mientras que el potencial no lo es. (19)		- Si se calcula el potencial se debe resolver una integral de línea del campo <b>E</b> . (20) - Para calcular uso $\Delta V = -\int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$ (1)

Se infiere que para los estudiantes la caracterización de mayor significado del campo eléctrico está vinculada con la orientación de las líneas de campo, asociada con el conocimiento de la carga de la configuración y

forma de la distribución. Un solo estudiante fue capaz de vincular las superficies equipotenciales con la circulación sobre el campo eléctrico.

**Tabla 6.17.** Invariantes operatorios y reglas de acción inferidas de la resolución de la Situación 4

Invariantes operatorios		Reglas de acción
Conceptos-en-acción	Teoremas-en-acción	
campo eléctrico ley de Gauss flujo de campo carga neta carga de prueba simetría	<u>En relación con el campo resultante <math>E</math>:</u> - El campo resultante es la suma vectorial de los campos parciales. (5) - El campo eléctrico en el centro del hexágono vale cero, porque las componentes radiales se anulan mutuamente en el centro del hexágono $E=0, V \neq 0$ . (5) - El campo eléctrico en el centro de hexágono es igual a la sumatoria de los campos que aporta cada una de las cargas. (13) - El $E$ es una magnitud vectorial entonces en el centro del hexágono el campo que le ejerce cada carga a la partícula de prueba es anulado por el que ejerce la partícula que se centra en el vértice opuesto. (2) - La ley de Gauss permite determinar el flujo del campo eléctrico. (9) - La ley de Gauss es aplicable a todos los casos en donde se pueda encerrar mediante una superficie gaussiana cargas. (8) - La ley de Gauss nos permite determinar el flujo del campo eléctrico. (15)	- El campo eléctrico en el centro del hexágono vale cero, si las componentes radiales se anulan mutuamente. (2) - La fuerza que ejerce una carga $q_a$ sobre $q_o$ es igual y de sentido opuesto a la que ejerce $q_b$ sobre $q_o$ . Por lo tanto, el campo allí es cero. (2) - Si la configuración es simétrica, el campo en el centro es nulo. (25) - Es posible calcular el campo eléctrico mediante la ley de Gauss. (15) - Si las cargas encerradas son de igual valor y signo contrario, la carga neta en una superficie gaussiana será nula y no habrá campo eléctrico. (8) - Si la sumatoria de las fuerzas eléctricas es nula, el equilibrio es estable. (23) - Si el campo eléctrico es constante, sale de la integral y $\int ds$ se transforma en una superficie. (2)
	<u>En relación con el potencial:</u> - El potencial en el centro es $V \neq 0$ . (12) - El potencial en el centro es $V = 0$ . (5)	

		- Si el potencial es un escalar, el resultante se obtiene sumando los potenciales debido a cada carga. (10)
	<p><u>Equilibrio estable:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El campo en el centro será cero y la carga tendrá un equilibrio estable debido a la repulsión de las cargas positivas que la harán volver a su lugar de equilibrio. (25)</li> <li>- La fuerza que realiza cada carga sobre el centro donde está la carga de prueba es igual ya que todas se encuentran a la misma distancia, esto quiere decir que se podrá hallar un equilibrio estable, la carga no se mueve. (2)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si el campo <math>E</math> es cero, el equilibrio es estable. (25)</li> <li>- Si una carga de prueba colocada en el centro del hexágono permanece estable o en equilibrio es por que todas las cargas le ofrecen una fuerza de repulsión que al sumarlas se anulan entre sí, es decir, <math>\sum F = 0</math>. (8)</li> </ul>
	<p><u>En relación con el campo <math>E</math> y la ley de Gauss:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La ley de Gauss es muy útil cuando tenemos un alto grado de simetría en una distribución de cargas continuas. (15)</li> <li>- La condición para poder aplicar la ley de Gauss es que en el interior de la superficie que vayamos a tomar exista una carga <math>q \neq 0</math> ya que si <math>q=0</math>, <math>\Phi E = q/\epsilon_0 = 0</math> <math>E=0</math>. (7)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si <math>\Phi E = 0</math> entonces lo atraviesan el mismo número de líneas de campo que salen. (10)</li> <li>- Si se toma <math>S_1</math> alrededor de una carga para analizar el campo en el punto se deduce que por ser todas las líneas salientes el campo es positivo y el flujo también lo será. (10)</li> <li>- El flujo de campo eléctrico es la carga neta encerrada en una superficie, dividido una constante <math>\epsilon_0</math> que es la constante del vacío. (4)</li> </ul>

De las argumentaciones de los estudiantes se infiere que están vinculadas a un esquema de activación referido a la alta simetría para aplicar la ley de Gauss y la condición de equilibrio asociado a campo eléctrico  $E=0$ . Con respecto al concepto de potencial parecería estar muy relacionado con las distancias de las cargas al punto más que con la circulación del campo eléctrico  $E$ .

**Tabla 6.18.** Invariantes operatorios y reglas de acción inferidas de la resolución de la Situación 5

Invariantes operatorios		Reglas de acción
Conceptos-en-acción	Teoremas-en-acción	
capacidad	<p><u>En relación con la capacidad:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La capacidad de un capacitor plano-paralelo es la relación que existe entre la carga "Q" sobre la ddp existentes entre los conductores de un condensador. (21)</li> <li>- La capacidad se obtiene dividiendo la carga y la diferencia de potencial. (14)</li> <li>- El factor limitante de la capacidad es el campo <b>E</b> y el dieléctrico. (3)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se aumenta el área de las placas del capacitor, la capacidad aumenta. (7)</li> <li>- Si un condensador de láminas plano-paralelas está cargado, la densidad de energía eléctrica reside en el campo eléctrico. (1)</li> </ul>
densidad de energía dieléctrico espacio entre cargas líneas de campo <b>E</b>	<p><u>Dependencia de la capacidad:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La capacitancia depende de las magnitudes físicas del capacitor y del tipo de capacitor (con dieléctrico o sin dieléctrico). (8)</li> <li>- Un capacitor actúa como un reservorio de campo <b>E</b>. (6)</li> <li>- La densidad de energía eléctrica en un capacitor cargado plano paralelo reside en la superficie interna de las placas. (9)</li> <li>- La densidad de energía eléctrica en un capacitor cargado de láminas plano-paralelo reside en el volumen entre las placas. (17)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si cambia el área o la separación entre las placas, varía la energía. (3)</li> <li>- Si cambia el campo eléctrico o el dieléctrico entre las placas, entonces se altera la capacidad. (15)</li> </ul>

En las referencias realizadas por los estudiantes se advierte la alta vinculación que existe entre la capacidad y la noción de un espacio como reservorio de energía eléctrica. La reiterada expresión de los alumnos (*La capacidad es la que posee un capacitor para almacenar energía*) reconocida en 21 estudiantes sugiere la relevancia que asume en ellos un esquema basado en una analogía basada en la cantidad de fluido que puede contener un recipiente.

**En síntesis:**

De acuerdo a la interpretación de las tablas 6.14 a 6.18 puede decirse que la mayoría de los estudiantes presentan un conjunto de invariantes operatorios para enfrentar las situaciones propuestas. Si bien no se puede afirmar la existencia aún de un alto nivel de conceptualización, los resultados sugieren, en acuerdo con la teoría, que un número significativo de estudiantes ha alcanzado en esta etapa un correcto nivel de conceptualización por cuanto evidencia adecuados niveles de explicitación de invariantes y sus representaciones.

En relación a este estudio se pueden apreciar niveles de dominio entre las relaciones operacionales y funcionales del campo  $\mathbf{E}$  y otras magnitudes físicas ( $Q$  y  $r$ ). En términos generales podría decirse que poco menos de la mitad de los alumnos reconocen y asumen la ley de Gauss como una relación de igualdad entre dos magnitudes escalares: flujo del campo eléctrico y carga neta encerrada por la superficie, orientada más al cálculo que a considerar el análisis de las líneas de campo que atraviesan la superficie. Esto podría deberse a una debilidad en la conceptualización de la noción de flujo.

Un análisis de los resultados relativos a las relaciones de campo - carga poco más de la tercera parte de los estudiantes dan evidencias de un adecuado anclaje del concepto de fuerza asociado a campo eléctrico.

Los resultados obtenidos dan, además evidencias de cierto grado de dificultad en los procedimientos de cálculo involucrados en la ley de Gauss como herramienta para la obtención del campo eléctrico alrededor de una dada configuración de cargas: un 46% de los estudiantes muestran resoluciones parcialmente adecuadas frente a un 15% que opera con un conocimiento conceptualmente correcto. Al ser entrevistados posteriormente los estudiantes que integran el primer grupo, se pudo precisar que las dificultades detectadas son variadas: algunas son

---

obstáculos epistemológicos por un anclaje fuerte en nociones de base coulombianas; otras emergen de un inapropiado manejo de expresiones algebraicas que involucran integrales de superficie; en muchos están vinculadas con debilidades en las interpretaciones y modelizaciones realizadas en base a la información presente en los enunciados.

Los resultados relativos a las relaciones campo y potencial eléctrico ponen de manifiesto aprendizajes significativos, con facilidad de interpretación y manejo de expresiones basadas en integrales de línea. Así del estudio emerge que prácticamente la mitad de los estudiantes han logrado asimilar las propiedades fundamentales de los materiales tradicionales (conductores y dieléctricos).

La mayoría de los estudiantes reconoce al campo eléctrico como una función vectorial y es capaz de reconocer atributos del campo  $\mathbf{E}$  en el interior de los conductores aún cuando se modifique sus propiedades por presencia de materiales dieléctricos.

Otro aspecto a destacar es relativo a la noción de campo  $\mathbf{E}$  como reservorio de energía. Puede inferirse que si bien casi un 40% de los estudiantes asocia la energía a un volumen, el concepto de densidad de energía asociada con el campo eléctrico presenta mayores dificultades de comprensión y explicitación.

La representación del campo  $\mathbf{E}$  y del potencial eléctrico a través de líneas de campo y equipotenciales, respectivamente, ha sido adecuada en cuanto representación simbólica de los mismos: el 46% ha graficado correctamente, mientras que el 50% efectuó representaciones parcialmente correctas dado que en sus esquemas sobresalió lo figurativo frente a lo simbólico. Esto podría deberse a los mayores requerimientos en la estructura cognitiva que demanda una representación simbólica con interpretación.

Desde la teoría de los campos conceptuales, discutida en el capítulo 3, los resultados obtenidos indican que los estudiantes dan sentido a las situaciones desde invariantes que otorgan significados al concepto de campo. La evidencia la constituyen los invariantes físicos y algunos matemáticos a los que recurren los estudiantes para representar gráficamente el campo eléctrico. En este sentido, estos invariantes pueden ser interpretados como elementos cognitivos que hacen que la acción del estudiante sea operativa, generando como se ha podido observar distintas secuencias de acción dependiendo de las características de cada situación particular. Hay esquemas cuando se hace un gráfico o un diagrama. Otros esquemas emergen de sus escritos, incluidos los algoritmos frente a una situación de resolución de problemas.

En las situaciones 1, 2, 3 de las tablas 6.14, 6.15 y 6.16, casi un 90% de estudiantes utilizan algoritmos escritos y gráficos repetidamente para tratar las mismas situaciones, de modo que se han transformado en lo que Vergnaud (1994) denominara esquemas habituales, según se puede apreciar en las figuras 6.20, 6.21 y 6.22.

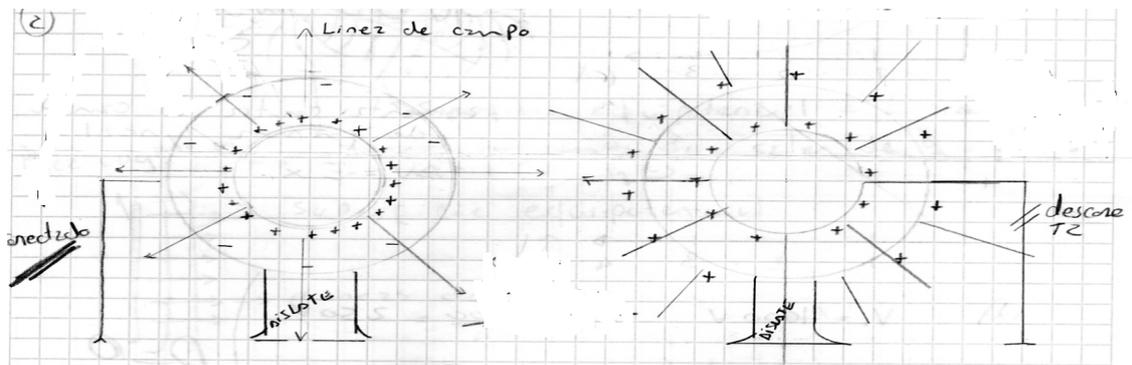


Figura 6.20. Algoritmo gráfico presentado para la situación 2 por el estudiante 5

Para la situación 2 el estudiante 5 reproduce un gráfico similar a los realizados en clases por el docente.

$$\begin{aligned}
 V_A &= k \cdot \frac{q}{r_E} \Rightarrow V_A = \\
 V_B &= k \cdot \frac{q}{r_E} \Rightarrow \\
 V_A = V_B &= \cancel{k} \frac{q_1}{r_E} = \cancel{k} \frac{q_2}{r_E}
 \end{aligned}
 \qquad
 \begin{aligned}
 V_B - V_A &= k \frac{q_1}{r_E} - k \cdot \frac{q_2}{r_E} \\
 \frac{V_B - V_A}{4} &= k \left( \frac{q_1}{r_E} - \frac{q_2}{r_E} \right) \\
 V_B - V_A &= 1000 \text{ [V]}
 \end{aligned}$$

Figura 6.21. Algoritmo escrito presentado para la situación 1 por el estudiante 3.

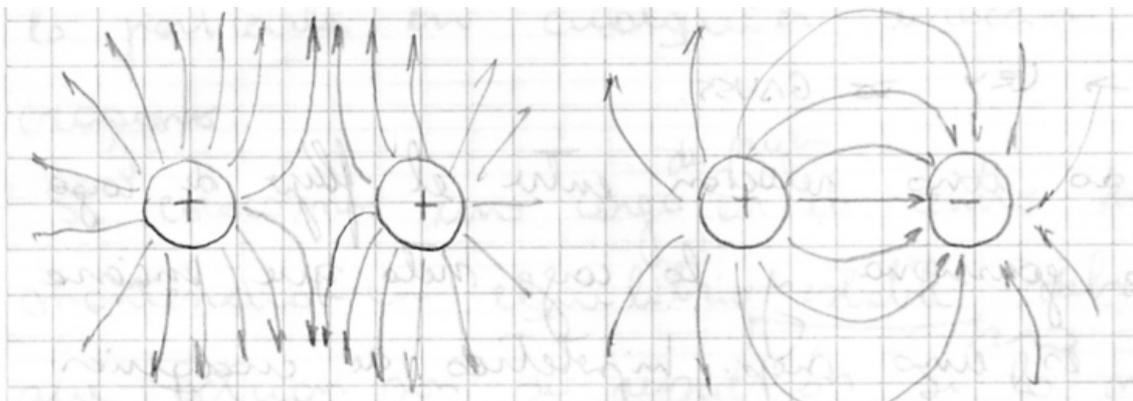


Figura 6.22. Algoritmo gráfico presentado para la situación 3 por el estudiante 15

La enseñanza de campo eléctrico  $E$  debe contribuir a que el estudiante desarrolle un repertorio amplio y diversificado de esquemas procurando evitar que los mismos se conviertan en estereotipos como, por ejemplo, los encontrados en las situaciones que se detallan a continuación:

#### Situación 1

- El campo eléctrico en el interior del conductor es cero si las cargas se distribuyen uniformemente en la superficie.

#### Situación 2

- Las líneas van de la carga positiva a la carga negativa.

#### Situación 3

- La capacidad es la propiedad de almacenar energía en un capacitor antes de romperse.

**Situación 4**

- La condición para poder aplicar la ley de Gauss es que en el interior de la superficie que vayamos a tomar exista una carga  $q$  ya que si  $q=0$   $\Phi E = q / \epsilon_0 = 0$   $E=0$ .

**Situación 5**

- La capacidad es la propiedad de almacenar energía.

**6.4.4. FASE IV: Actividad de auto-evaluación relacionada con el Trabajo Práctico utilizando software de simulación**

La actividad de autoevaluación se realizó con el software de simulación utilizado para la ejecución del trabajo práctico. En esta actividad se trata de determinar esquemas tanto del dominio teórico al cual refiere la situación presentada, como del dominio metodológico propio de las simulaciones, ambos en interrelación.

**Sujetos:** Resolvieron esta actividad, en la clase 7 del cronograma (tabla 6.2), sólo 20 estudiantes de los 46 que realizaron la actividad planteada en la fase I. Este desgranamiento es el que se produce habitualmente en la asignatura a medida en que se avanza en el cursado<sup>10</sup>.

**Metodología:** Se procesaron 5 informes de trabajos prácticos realizados por grupos de 4 alumnos cada uno. Se solicitó que realizaran la confección del informe que fue evaluado por el docente a cargo del curso y la tesista. Los informes fueron devueltos a los estudiantes y el docente del curso realizó luego de la corrección una exposición de las correcciones y errores más evidentes.

---

<sup>10</sup> Éste es un tema que preocupa a la Dirección del Departamento de Materias Básicas y se están desarrollando algunas iniciativas, como las tutorías, para acompañar el estudio de los estudiantes con dificultades de aprendizaje u orientarlos en la selección de la cantidad de asignaturas a cursar en el período académico.

---

Se analizaron las producciones de los estudiantes, desde la mirada de los campos conceptuales de Vergnaud. Se infirieron los posibles invariantes operatorios (conceptos-en-acción, teoremas-en-acción y reglas de acción) y esquemas a partir de cada informe de trabajos prácticos. Para completar el análisis se realizó un proceso de codificación de las respuestas de los informes de los cuatro grupos en base a las cinco categorías: clasificación, expresión escrita, representación, operación y resultados, con sus correspondientes indicadores, propuesto por Llancaqueo et al. (2003). El detalle de los mismos se presentan más adelante (Tabla 6.19) en la comunicación de los resultados.

Para el análisis de los resultados, la codificación de las respuestas se realizó en términos de tres niveles: correcto, incorrecto y no contesta, donde el nivel correcto describe el acuerdo con significados científicos de los conceptos e incorrecto lo contrario. La justificación de este criterio adoptado es poder inferir la disponibilidad de conocimientos-en-acción en la estructura conceptual de los estudiantes compatibles para la construcción del significado científico del concepto de campo eléctrico y potencial eléctrico. Una vez codificados los diferentes tipos de respuestas a las situaciones planteadas en la actividad, los datos obtenidos se analizaron en términos de porcentajes de respuestas conceptualmente correctas.

**Instrumento:** Se solicitó a los estudiantes que simulen con el software utilizado en el trabajo práctico (anexo VI) y resuelvan las cuatro situaciones del cuadro 6.3, siendo la situación 4 la que corresponde a la autoevaluación.

**Cuadro 6.3.** Consignas de trabajo de la Fase IV

Situación 1: Represente el campo eléctrico mediante vectores de campo y líneas de campo

Situación 2: Analice el campo eléctrico generado por una o más cargas puntuales

Situación 3: Represente las regiones equipotenciales

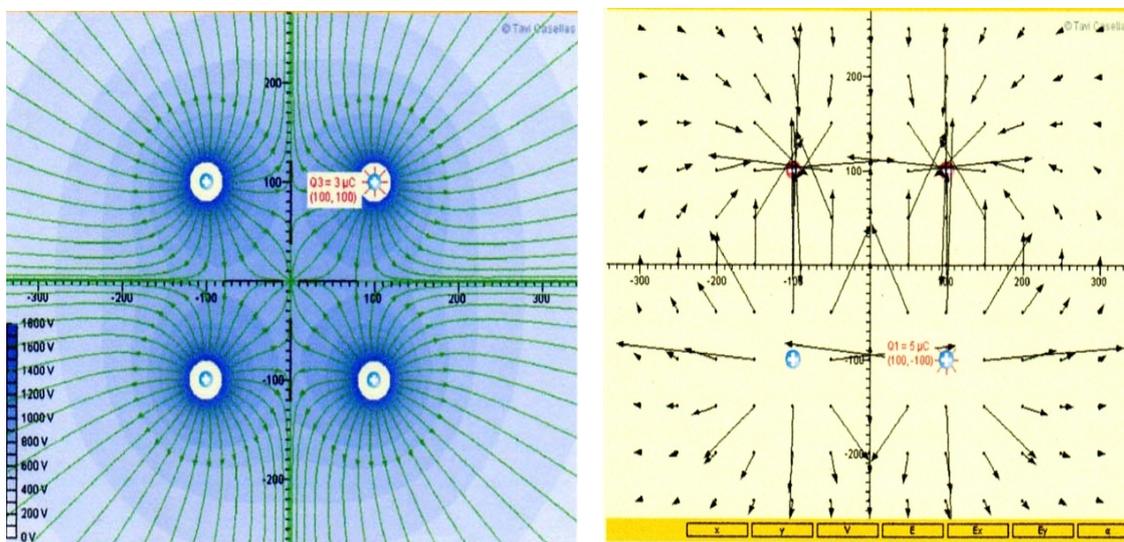
Situación 4: Analice el campo y potencial eléctrico generado por 4 cargas puntuales

Se tienen cuatro cuerpos cargados de dimensiones pequeñas con cargas eléctricas de igual valor absoluto, el signo de ellas puede escogerse arbitrariamente. Hallándose ubicadas en los vértices de un cuadrado:

a- Realice una representación de las distintas configuraciones espaciales de cargas con todas las posibilidades de signos de las cargas a adoptar.

b- Analice y fundamente en qué punto o puntos colocarías una carga de prueba donde la fuerza resultante sobre la misma sea nula.

c- Analice el tipo de equilibrio que experimenta la carga de prueba en cada caso.



(a)

(b)

**Figura 6 23.** Pantalla con la simulación para verificar los cálculos realizados para la situación 4 presentada en la Fase II (a-líneas de campo y b-vectores de campo)

**Resultados:** Se evaluó la actividad de simulación considerando que resulta una tarea compleja de resolución de una situación problemática, ya que con el software elegido podían los estudiantes profundizar el estudio de la situación de las cuatro cargas correspondiente a la indagación evaluativa de la Fase II (Tabla 6.2). La visualización de representaciones de campo eléctrico bajo configuraciones de cargas variables y la comparación entre ellas genera posibilidades para que el estudiante explicita sus ideas. De esta forma es posible inferir en esta fase los invariantes operatorios que utiliza al interpretar los esquemas que presenta y discute en su informe escrito.

**Tabla 6.19.** Conceptos-en-acción, teoremas-en-acción y reglas de acción inferidas de los informes del trabajo de simulación situación 1

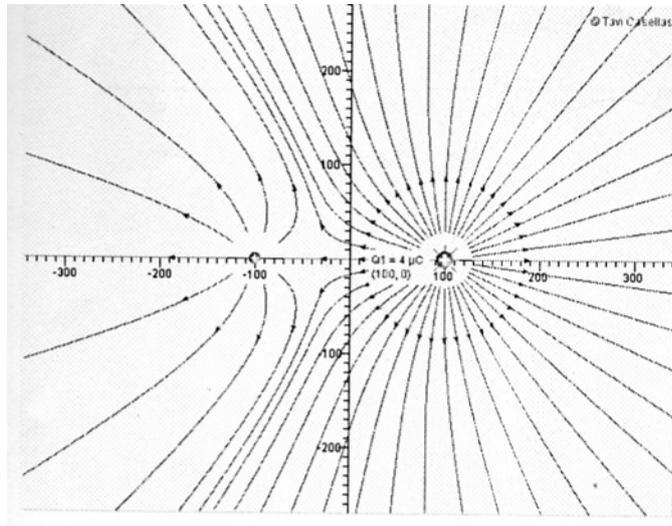
Invariantes operatorios		Reglas de acción
Conceptos en acción	Teoremas-en-acción	
campo <b>E</b> . vectores. líneas de campo. líneas equipotenciales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La intensidad y dirección del campo <b>E</b> en cada región se representa mediante vectores. (20)</li> <li>- Conviene analizar primero la pantalla con línea de campo para entender la representación con los vectores <b>E</b> superpuestos. (20)</li> <li>- La representación mediante líneas de campo se adecua más a cualquier distribución de cargas. (20)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si la longitud del vector aumenta, el campo en ese punto es más intenso. (20)</li> <li>- Si los vectores se superponen, analizo sólo la representación con líneas de campo. (20)</li> <li>- La ventaja de la representación de líneas de campo <b>E</b> se hace evidente para más de cuatro cargas. (20)</li> <li>- Para conocer la intensidad de campo, es suficiente con poner una superficie perpendicular a la figura y contar las líneas de campo que la atraviesan. (20)</li> </ul>

Se evidencia en el estudio el reconocimiento, por parte de los estudiantes, de que los vectores de campo eléctrico **E** y las superficies equipotenciales son perpendiculares. Asimismo en sus producciones se destaca la inmediata

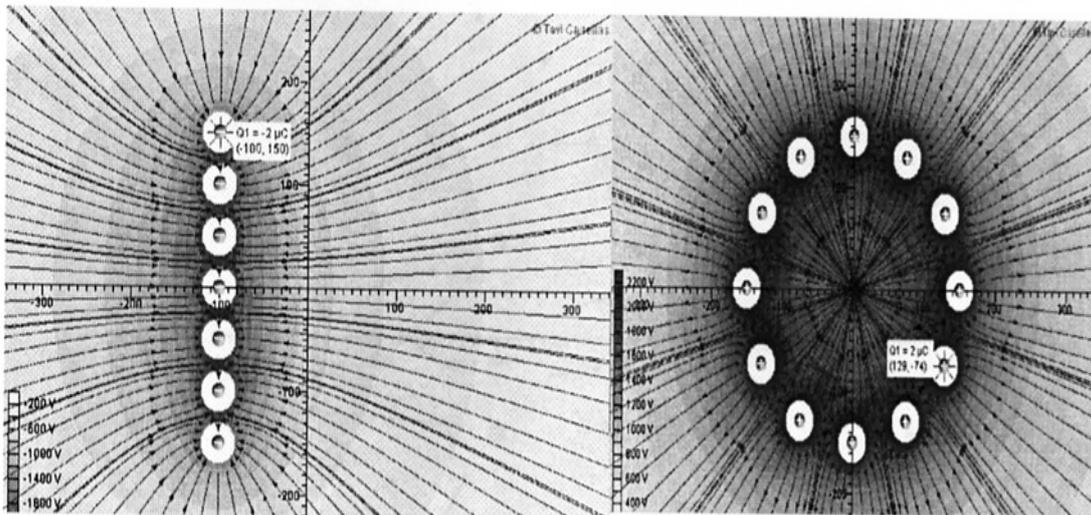
relación entre el potencial eléctrico, que disminuye a medida que se aleja de la carga, y la reducción en la intensidad del Campo eléctrico **E**. Esta situación se ve favorecida por la rápida visualización en las pantallas para valores diferentes de cargas puntuales aisladas.

**Tabla 6.20.** Conceptos-en-acción, teoremas-en-acción y reglas de acción inferidas de los informes del trabajo de simulación situación 2

Invariantes operatorios		Reglas de acción
Conceptos-en-acción	Teoremas-en-acción	
carga puntual. sistema de coordenadas. campo <b>E</b> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las líneas de campo son salientes para cargas positivas.(15)</li> <li>- Para dos cargas puntuales iguales el campo tiene simetría. (20)</li> <li>- La representación por líneas de campo permite reconocer la dirección y sentido de campo eléctrico mediante el trazado de tangentes a las líneas de campo en cada punto. (15)</li> <li>- El análisis de un campo generado por una o dos cargas puntuales facilita inicialmente los cálculos.(20)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se traza la tangente a las líneas de campo, se encuentra el vector <b>E</b>. (20)</li> <li>- Si se comprueban singularidades tales como campo nulo, esta simulación hace posible dibujar en dos dimensiones la representación de una función vectorial en un espacio de tres dimensiones. (15)</li> <li>- Si se utiliza la ley de Coulomb aplicada al sistema de cargas, en función de la distancia se contrastan los valores obtenidos gráfica y analíticamente. (15)</li> <li>- Si se ponen cargas puntuales alineadas obtengo el campo que correspondería a una placa plana cargada. (20)</li> <li>- Si se disponen las cargas siguiendo una línea circular cerrada se puede obtener el campo de una distribución esférica. (20)</li> </ul>



**Figura 6.24.** Pantalla con la simulación de las líneas de campo para dos cargas distintas con comentario grupo (Situación 2)



**Figura 6.25.** Pantalla con la simulación de una placa plana y una superficie esférica cargada (Situación 2)

La posibilidad de modificar las posiciones de cargas de igual valor absoluto y ubicarlas en distintas posiciones favoreció que los estudiantes potencien la noción de simetría y visualicen singularidades en el comportamiento del campo eléctrico. Asimismo, se registró en el relato de los estudiantes el interés generado por las significativas modificaciones en las líneas de campo cuando se trabaja con cargas de distinto valor, tal como se observa en la figura 6.24. También favorece la organización de configuraciones que simulan una placa plana cargada y una superficie esférica, a partir de la superposición de los campos de las cargas individuales (figura 6.25).

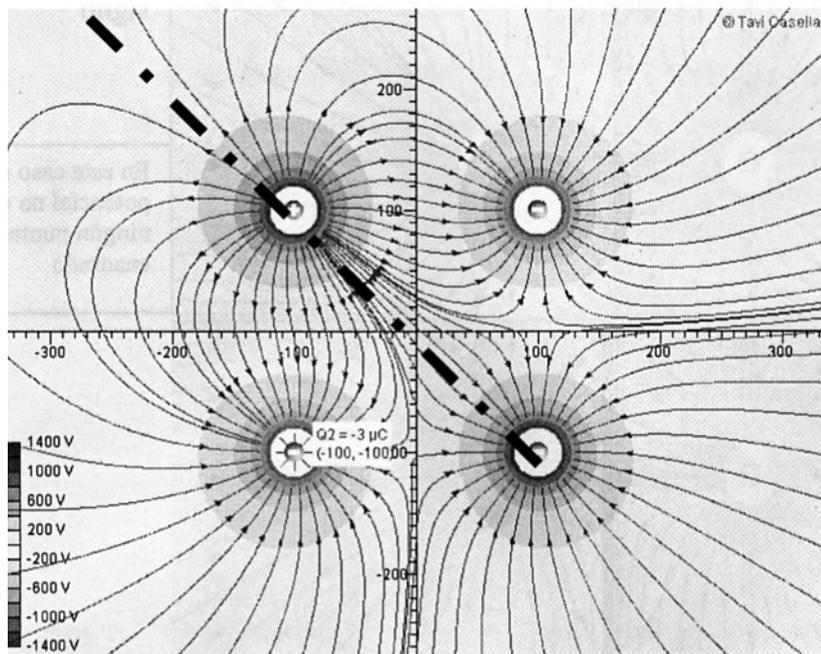
**Tabla 6.21.** Conceptos-en-acción, teoremas-en-acción y reglas de acción inferidas de los informes del trabajo de simulación situación 3

Invariantes operatorios		Reglas de acción
Conceptos-en-acción	Teoremas-en-acción	
campo <b>E</b> regiones equipotenciales fuerzas eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El eje horizontal divide el campo de un dipolo en dos regiones simétricas. El eje vertical separa el plano en dos regiones equipotenciales. (20)</li> <li>- Como hay regiones de potencial negativo y regiones de potencial positivo relacionados de manera directa, debe existir al menos un punto donde el potencial se anula. (20)</li> <li>- Las regiones equipotenciales son perpendiculares a las líneas de campo <b>E</b> para distintas configuraciones. (20)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si una fuerza mueve una partícula por una región que presenta el mismo color no realiza trabajo para vencer fuerzas eléctricas. (20)</li> <li>- Si se ubican distintas configuraciones de carga en forma inmediata se tienen dibujadas las líneas de campo y las regiones equipotenciales en simultáneo.(20)</li> </ul>

Se desprender de este análisis que los estudiantes pueden verificar sus supuestos, con la visualización gráfica, tanto de la representación por líneas de campo como de la vectorial, para situaciones con más de dos cargas.

**Tabla 6.22.** Conceptos-en-acción, teoremas-en-acción y reglas de acción inferidas de los informes del trabajo de simulación situación 4

Invariantes operatorios		Reglas de acción
Conceptos-en-acción	Teoremas-en-acción	
cargas puntuales campo <b>E</b> potencial eléctrico	<p><u>Cuatro cargas positiva</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El potencial no puede anularse porque la suma del potencial eléctrico debido a cada carga puntual todos los términos son positivos. (20)</li> </ul> <p><u>Dos positivas y dos negativas)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Al igual que en el dipolo se verifica que el eje Y separa dos regiones equipotenciales que varían de negativo a positivo, esto demuestra que en algún punto o conjunto de puntos el potencial eléctrico debería ser cero. (20)</li> </ul> <p><u>Dos positivas y dos negativas alternadas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La configuración de las líneas de campo se pueden interpretar en función del campo de pares de cargas. (20)</li> </ul> <p><u>Tres negativas una positiva</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La curvatura de las líneas de campo permiten encontrar los puntos donde el campo se anula. (20)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se rotan las cuatro cargas positivas, el campo eléctrico no se modifica sólo si las cargas son iguales. (20)</li> <li>- Si se cambia la posición relativa entre cargas, el campo se modifica. (20)</li> <li>- En la región formada por las cuatro cargas siempre hay una lectura del campo distinta de cero. (20)</li> <li>- Si se analiza de a par consecutivo, el campo entre ellos es el de un dipolo.(20)</li> <li>- Si se analiza según la diagonal del cuadrado, el campo es el de cargas opuestas. (20)</li> <li>- Si la densidad de líneas se reduce, el campo se atenúa. (8)</li> <li>- Si las zonas donde se anula el potencial se halla en el límite de las superficies equipotenciales de las distintas cargas, el campo se anula en un punto sobre el 2do cuadrante en una recta de ecuación <math>y=-x</math>. (10)</li> </ul>



**Figura 6.26.** Pantalla con la simulación de líneas de campo para tres cargas negativas y una positiva

El grupo 1 señala en referencia a la figura 6.26 que “la densidad de líneas de campo  $E$  que llegan a la carga negativa por la diagonal, muestra dos puntos que verifican la nulidad del vector campo  $E$ , estos puntos están próximos a la zona media de la imaginaria línea que une las cargas de igual signo”. De esta manera efectúa una lectura interpretativa de las líneas de campo y la posición donde se anularía el mismo.

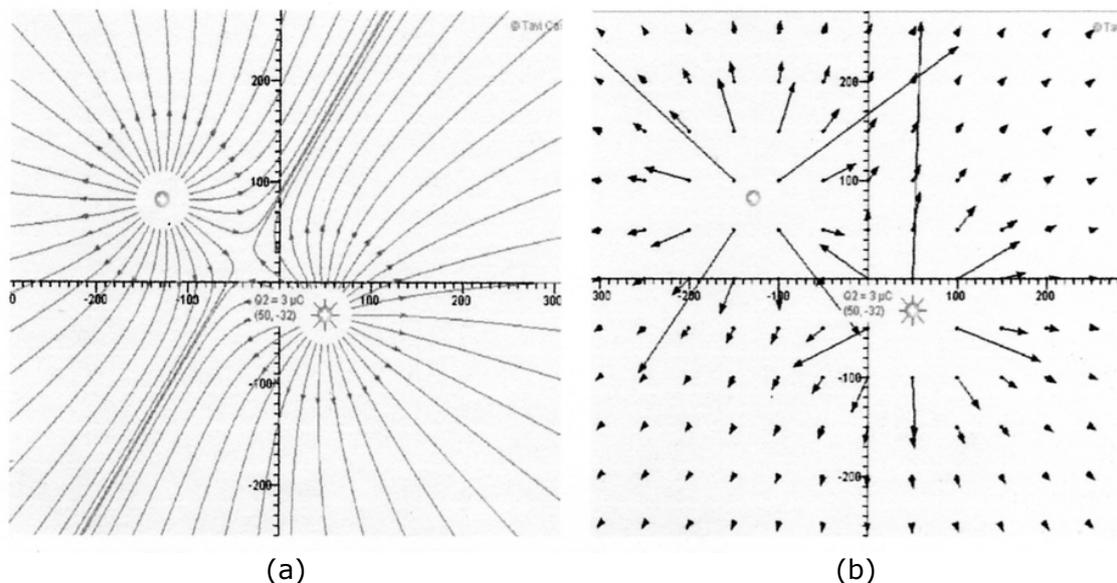
### Consideraciones:

Este trabajo práctico de simulación ofreció a los estudiantes la posibilidad de revisar y reflexionar sobre sus actuaciones en la resolución de la situación problemática que se le presentara en la fase II de la indagación evaluativa. Esto fue reconocido por los estudiantes quienes buscaron inmediatamente validar o corregir sus interpretaciones anteriores. En

---

consecuencia, durante el proceso de realización de la actividad de autoevaluación del informe se favoreció el desarrollo conceptual de los estudiantes en cuanto al contenido teórico particular de las situaciones propuestas.

En la fase II se observó la dependencia del campo eléctrico con los signos de las cargas eléctricas, más que con su ubicación espacial. En esta fase IV los estudiantes pudieron comprobar que la presencia de una carga de prueba en un campo eléctrico no altera la distribución o movimiento de las cargas que crean el campo. Reconocieron que la carga colocada en el campo no necesita estar fija, sino que podría acelerarse en respuesta a la fuerza eléctrica que experimenta.



**Figura 6.27.** Representación del campo eléctrico mediante vectores y líneas de campo eléctrico para dos cargas iguales del mismo signo (informe del grupo 1)

También se reconocieron las distintas configuraciones espaciales de cargas con diferentes posibilidades de signos y de valores a adoptar. También pudieron proponer diferentes ubicaciones espaciales (Fig. 6.27). El software favoreció que los estudiantes exploraran las correspondientes representaciones de campo eléctrico tanto mediante vectores de campo

como con líneas de campo eléctrico para dos o más cargas. En el informe correspondiente al grupo 1, referido a la figuras 6.27a y b, los alumnos argumentan:

“Vemos en la figura la representación del campo eléctrico mediante las dos formas que ofrece el simulador para la configuración de dos cargas puntuales iguales en magnitud y signo, a la izquierda vemos la representación mediante líneas de campo eléctrico y a la derecha la representación mediante vectores de campo. La ventaja que ofrece la primera es un gráfico agradable a la vista pero para su interpretación se deben tener un sólido conocimiento de los criterios por los cuales se rige esa representación. La representación mediante vectores campo eléctrico permite ver de manera directa la intensidad y dirección del campo eléctrico en cada región, representada por la longitud o norma de cada vector supuesto están en la misma escala, pero a pesar de esta ventaja, los vectores superpuestos pueden resultar confusos y el dibujo difícil de interpretar en cuanto al impacto visual.”

En esta argumentación los estudiantes evidencian una aproximación a interpretaciones más abstractas, dando significado a la representación de  $\mathbf{E}$  mediante líneas de campo (figura 6.27a) en función de la representación vectorial de  $\mathbf{E}$  como tangente a la línea de campo en cada punto del espacio y de forma que cada uno de ellos dé la intensidad y la dirección en ese punto (figura 6.27b).

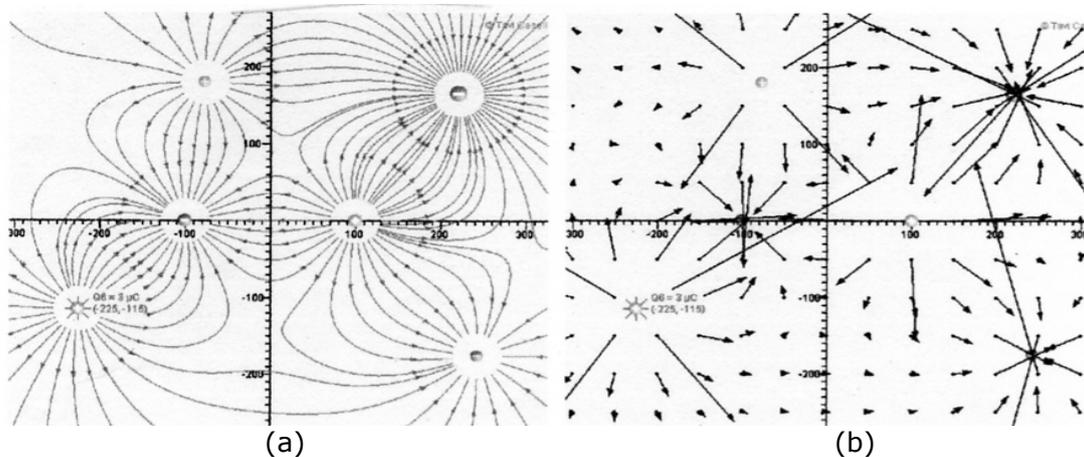
También se observa la valoración realizada a las dos formas de representación de  $\mathbf{E}$  con un criterio estético y otro conceptual-simbólico: la de la izquierda (a) es “agradable a la vista” pero demanda mayor carga cognitiva para interpretarla; la de la derecha (b) “... puede resultar confuso...” en un impacto visual, si bien “...permite ver de manera directa la intensidad y dirección del campo eléctrico en cada región...”. Se observa que no formulan explícitamente la vinculación entre las dos representación.

---

Sin embargo la mayoría de los estudiantes manifestó su preferencia por la representación mediante líneas, encontrando confusas la vectorial, fundamentalmente en las posiciones donde se observan superposiciones relativas de vectores (Fig. 6.28b).

Para la figura 6.28 a y b, correspondiente a la representación con seis cargas los integrantes del grupo 1 acompañan con el siguiente comentario:

“Para seis cargas de variados signos e intensidad distribuidas arbitrariamente en el plano XY, la representación de campo eléctrico generado por las cargas presentes mediante vectores de campo es una gráfica muy desordenada y difícil de interpretar, los vectores se presentan superpuestos. Mediante líneas de campo la representación mantiene cierto orden y se verifican claramente las zonas que están afectadas por el campo eléctrico y cuáles se ven poco afectadas o dónde el campo eléctrico puede resultar nulo o de poca intensidad”



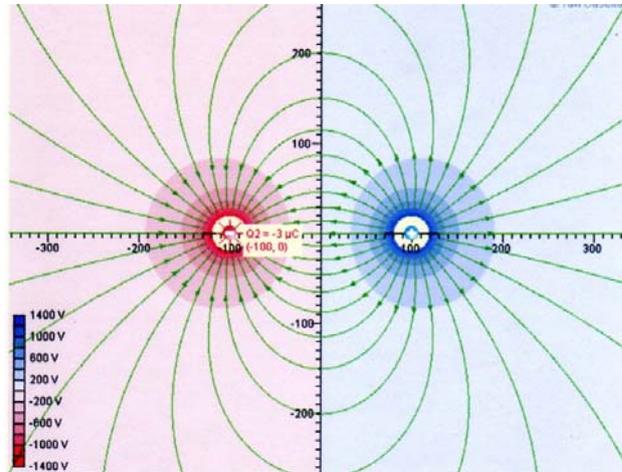
**Figura 6.28.** Representación del campo eléctrico mediante vectores de campo y líneas de campo eléctrico para seis cargas tres positivas y tres negativas (informe correspondiente al grupo 1)

El grupo 1 también expresa una valoración favorable para la representación mediante líneas de campo ya que la considera más ordenada y clara para

una identificación de la forma en que es afectado cada punto del espacio para cualquier distribución de cargas los estudiantes distinguen con mayor claridad las zonas donde existe campo eléctrico y la dirección del mismo. Encuentran la representación vectorial (b) "...muy desordenada y difícil de interpretar..." haciendo alusión nuevamente a la confusión que se produce cuando los vectores se superponen.

En la figura 6.29 se presenta el caso particular del dipolo eléctrico el grupo 2 comenta:

"Vemos en la figura la configuración del dipolo que ofrece el simulador. Solicitamos del simulador la representación del campo y potencial eléctrico mediante líneas de campo y regiones equipotenciales respectivamente. Verificamos con esta figura donde suponíamos un plano en el cual todos los puntos del plano tienen, debido a la configuración dipolo, potencial nulo, siendo ese plano el XZ. El eje Y separa dos regiones equipotenciales, una positiva y otra negativa, necesariamente el potencial debe valer cero. Vemos claramente definidas las regiones equipotenciales, en rojo intenso los potenciales más negativos y azul intenso los potenciales positivos. También en la figura vemos las líneas de campo eléctrico que representan el campo eléctrico en la región cercana al dipolo mostrado, es notable que las líneas de campo eléctrico atraviesan las líneas límites de las regiones equipotenciales y lo hacen siempre perpendicularmente a las mismas, también vemos que al cruzarlas lo hacen siempre en dirección desde una zona de mayor potencial a una de menor potencial. Tienen relación con el gradiente de la superficie en cuanto a su dirección en cada punto pero el sentido es contrario."



**Figura 6.29.** Representación del campo eléctrico mediante líneas de campo y regiones equipotenciales (intervalos de valores por densidad de colores) para un dipolo. Se muestra la proyección sobre el plano de la superficie equipotencial nula.

En el análisis del campo y potencial generado por cuatro cargas puntuales el grupo 2 comenta para la figura 6.30a:

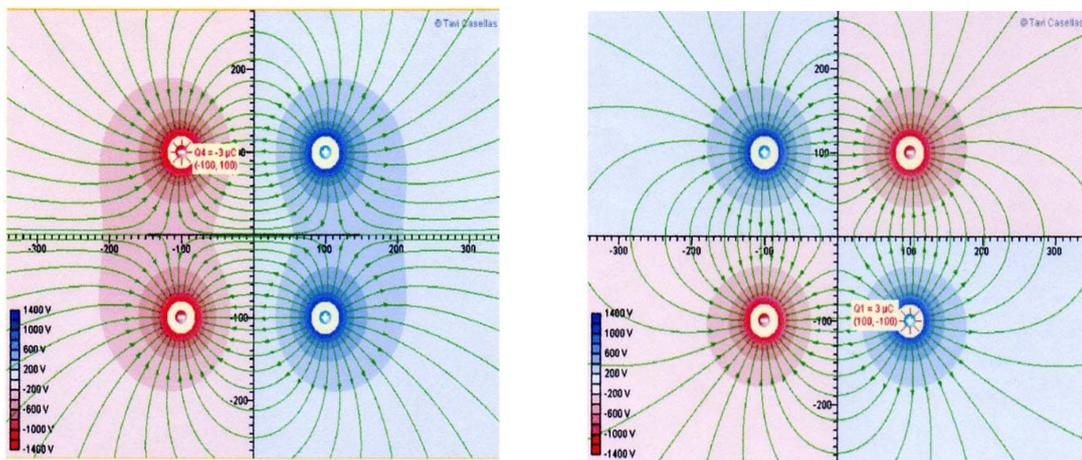
“Ésta es otra combinación posible para el problema propuesto y nos disponemos a analizar. Para esta configuración planteada vemos en la figura dos regiones del plano en las cuales es notable la ausencia de líneas de campo eléctrico, lo cual hace suponer que el campo en esa región es muy débil. Esa región se encuentra en la mitad de la línea imaginaria que une cargas de igual signo. Si analizamos el campo debido sólo a las cargas de igual signo en el punto medio de la línea que las une, el campo eléctrico es nulo. Ahora agregamos el otro par y en ese punto el campo debido a estas últimas tiene como resultante un pequeño vector de componente ortogonal, de modo que desplazando la posición en sentido opuesto el primer par de cargas genera una componente según la misma dirección y sentido opuesto para anularlo. El mismo razonamiento para ambos lados nos resultan dos puntos en

donde el vector campo eléctrico como suma de contribuciones de cada partícula cargada resulta nulo. En dichos puntos el potencial es no nulo. Al igual que el dipolo se verifica que el eje Y del gráfico separa dos regiones equipotenciales que varían de negativo (izquierda) a positivo (derecha) esto demuestra que en algún punto o conjunto de puntos el potencial eléctrico debería ser cero. Efectivamente todos los puntos que pertenecen al plano YZ tienen potencial nulo debido a esta configuración.”

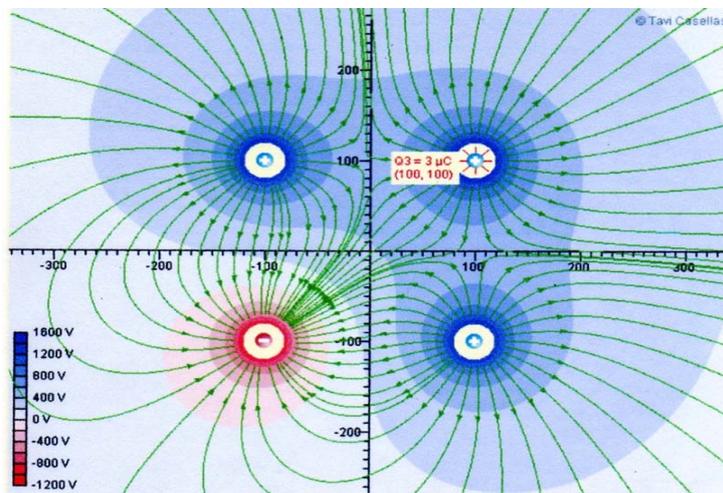
Para la figura 6.30b los estudiantes del grupo 2 analizan viendo dipolos consecutivos. También se detienen en considerar el campo en la región central de la configuración cuadrada de cargas, por cada par de cargas de igual magnitud y signo ubicadas en la dirección diagonal. Dicen:

“Es notable la ausencia de líneas de campo en el centro del cuadrado que en nuestro caso coincide con el origen de coordenadas. Efectivamente el campo eléctrico en esa región del plano se anula debido al par enfrentado sobre la diagonal. Analizando el potencial eléctrico para la configuración propuesta vemos que cada cuadrante tiene potencial distinto al que le sigue. Pasando de un cuadrante a otro existen puntos donde el potencial es cero, estos puntos coinciden en la figura con los ejes coordenados X -Y. Extendiendo al espacio el plano que coincide con el plano YZ y el plano XZ verifican para todos sus puntos el potencial nulo.”

En la descripción que realizan estos estudiantes sobresale la consideración de los puntos de potencial nulo en zona central, así como las observadas diferencias entre cuadrantes consecutivos.



**Figura 6.30.** Representación del campo eléctrico mediante de líneas de campo y regiones equipotenciales (intervalos de valores por densidad de colores) para distintas configuraciones de 4 cargas (2 positivas y 2 negativas) (grupo 2)



**Figura 6.31.** Representación del campo eléctrico mediante líneas de campo y potencial eléctrico generado cuatro cargas: tres positivas y una negativas (grupo 2)

Realizando una comparación entre la figura 6.31 con lo realizado por el grupo 2 correspondiente a la fase II en la figura 6.18, se puede concluir que

el software de simulación cumplió con el objetivo de validar, mediante la visualización gráfica, el razonamiento realizado por los estudiantes oportunamente para encontrar la forma de las líneas de campo para una configuración de cargas equivalente. Emergen de este estudio que la representación por líneas de campo permite reconocer la dirección y sentido de campo eléctrico mediante el trazado de tangentes a las líneas de campo en cada punto, pudiendo comprobarse las singularidades tales como el campo nulo. Esta simulación hace posible dibujar en dos dimensiones la representación de una función vectorial en un espacio de tres dimensiones.

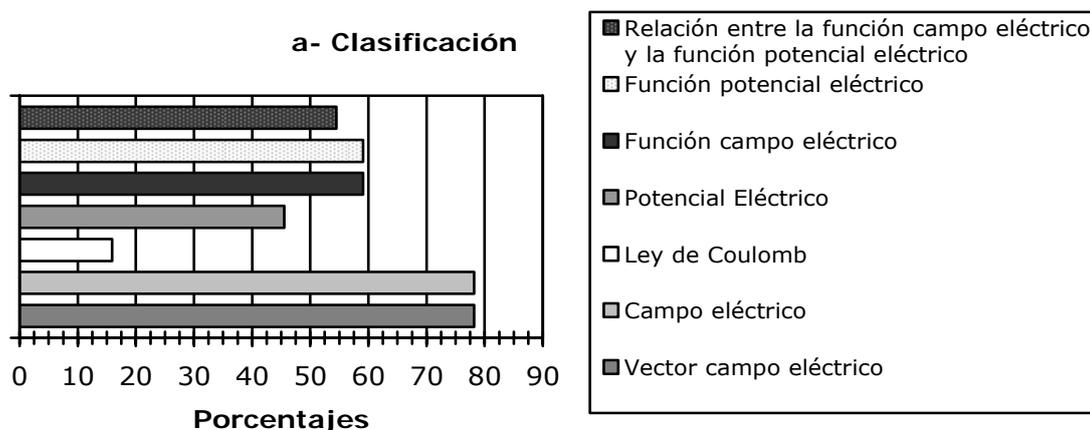
Con la visualización del campo y potencial eléctrico generado por las distintas configuraciones de cuatro cargas puntuales, solicitadas en el trabajo práctico, los estudiantes tuvieron la oportunidad de obtener una representación tridimensional girando la figura en torno del eje de simetría.

Los trabajos prácticos evaluados muestran una diversidad de esquemas específicos, dependientes de la situación planteada y dependientes del desarrollo conceptual de los estudiantes. Los resultados obtenidos verifican las estructuras de representación simbólicas y significados que dan forma a los invariantes operatorios que utilizan los estudiantes para las situaciones planteadas que involucran una conceptualización aceptable del concepto de campo eléctrico. Esto confirma lo sugerido por Vergnaud (1990) que los conceptos no sólo deben ser definidos por su estructura sino que requiere considerar las propiedades, las situaciones en las cuales el concepto de campo es usado y los sistemas de representación simbólica que los estudiantes utilizan para expresar la información contenida en las situaciones y su propia estructura conceptual.

Para completar el análisis, como se indicó en la metodología, se codificaron las respuestas de los informes de los cuatro grupos en base a lo desarrollado por Llancaqueo et al. (2003), según se muestra en la tabla 6.23.

**Tabla 6.23.** Categorías atributos e indicadores para analizar las respuestas de los estudiantes (adaptación de Llancaqueo et.al. 2003)

<b>Categoría</b>	<b>Atributos</b>	<b>Indicadores</b>
Clasificación	Reconocimiento e identificación de las magnitudes físicas a las que se aplican los significados de los conceptos: escalar, vector, relación funcional, campo escalar, campo vectorial, al emplear el simulador.	Vector campo eléctrico.
		Campo eléctrico.
		Principio de superposición
		Potencial eléctrico.
		Función campo eléctrico.
		Función potencial eléctrico.
		Relación entre la función campo eléctrico y la función potencial eléctrico.
Expresión escrita	Presencia escrita de predicados científicamente correctos que definen atributos o propiedades de los conceptos de escalar, vector, función, campo escalar y campo vectorial, usadas para explicar, clasificar o justificar las consignas pedidas en cada una de las situaciones planteadas.	Magnitudes clasificadas como vectores.
		Magnitudes clasificadas como escalares.
		Potencial eléctrico como campo escalar.
		Campo eléctrico como campo vectorial.
		Definición operacional de campo eléctrico.
		Definición operacional de potencial eléctrico.
Representación	Uso e identificación de invariantes que se relacionan con el conjunto de representaciones simbólicas y pictóricas que representan los significados de los conceptos escalar, vector, función, campo escalar y campo vectorial.	Vectores por flechas.
		Vectores por componentes.
		Campo eléctrico por ecuaciones.
		Campo eléctrico por líneas de campo.
		Potencial eléctrico por ecuaciones.
		Potencial eléctrico por líneas equipotenciales.
Operación	Uso e identificación de invariantes a partir de los procedimientos utilizados por los estudiantes al resolver las cuestiones problemáticas planteadas. Es decir, conocimiento y aplicación de las operaciones y representaciones simbólicas ligadas a los conceptos de escalar, vector, función, campo escalar y campo vectorial.	Suma / resta de vectores por flechas.
		Suma / resta de vectores por componentes.
		Suma algebraica de escalares.
		Cálculo del vector campo eléctrico a partir de la función campo correspondiente.
		Cálculo del potencial eléctrico a partir de la función escalar correspondiente.
Resultados	Disponibilidad conceptual de los estudiantes en términos de propiedades, relaciones y transformaciones científicamente correctas de los conceptos de escalar, vectorial, función y campo, en la resolución de un problema, como manifestación del uso de invariantes de las operaciones y representación simbólica de los conceptos en relación a las demandas de las situaciones problemáticas.	Álgebra vectorial para obtener el campo debido a una configuración de cargas.
		Álgebra escalar para obtener el campo debido a una configuración de cargas.
		Descripción de la relación entre potencial eléctrico y campo eléctrico.

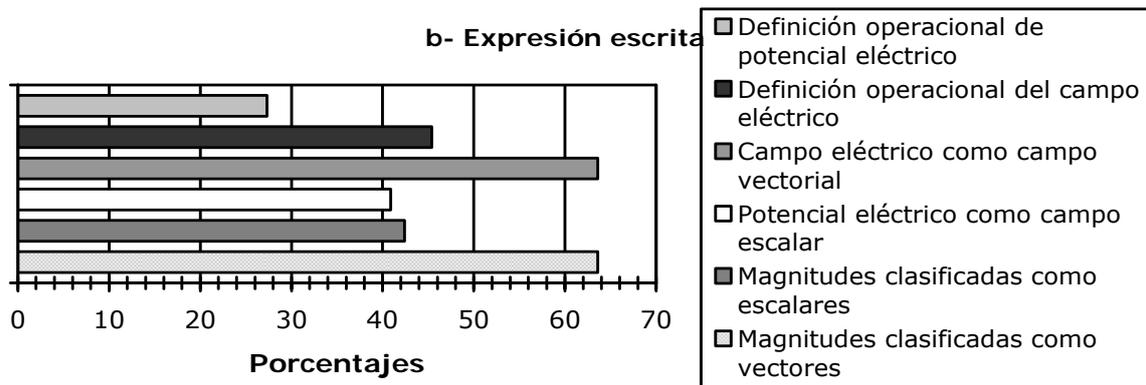


**Figura 6.32.** Distribución porcentual de respuestas adecuadas relativas a los indicadores de la categoría *clasificación*

En relación a la categoría *clasificación* se observa que los estudiantes reconocen e identifican las magnitudes físicas a las que se aplican los significados de los conceptos: escalar, vector, campo escalar y campo vectorial y, en menor grado, las relaciones funcionales entre dichas magnitudes físicas.

Este resultado estaría mostrando modificaciones en la conceptualización de campo eléctrico por una mudanza de la concepción coulombiana (Cap. 5 apartado 5.3.1) a la maxwelliana. Por otra parte, la simulación permite “visualizar” fenómenos imposibles de reproducir en el laboratorio. Puede ser utilizado por los alumnos como una simple visualización del problema o como un material interactivo, puesto que se tiene la posibilidad de modificar los parámetros y requerir la gráfica de las distintas variables que describen la dinámica del proceso ya que se están manejando con representaciones más abstractas como potencial eléctrico.

Si bien el simulador no impone una forma de representación de campo eléctrico, el desarrollo del guión de trabajos prácticos (Tabla 6.5) estuvo guiado por el concepto de campo y no de fuerza, contribuyendo a afianzar el significado del primero.



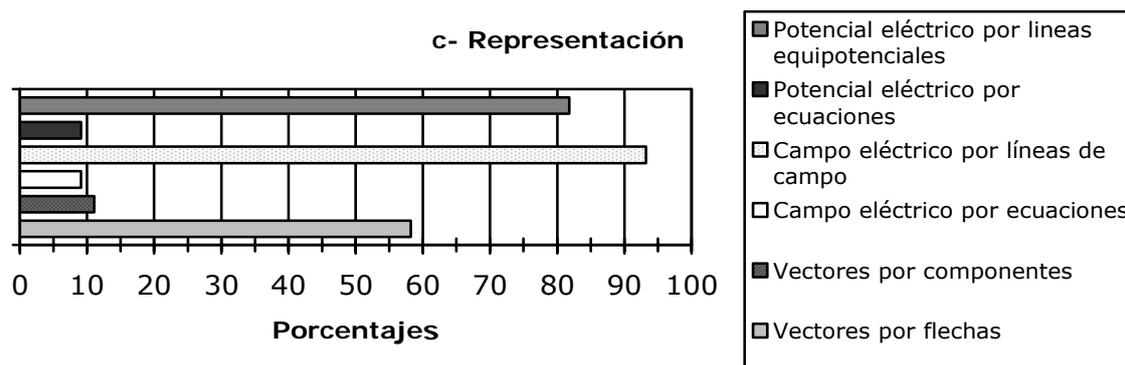
**Figura 6.33.** Distribución porcentual de respuestas adecuadas relativas a los indicadores de la categoría *expresión escrita*.

En cuanto a la categoría *expresión escrita* los estudiantes emplean oraciones con predicados científicamente adecuados en relación a las propiedades y atributos de los campos escalares y vectoriales, en general, y del campo y el potencial eléctrico, en particular, manifestando cierta dificultad para expresar por escrito las relaciones entre dichas magnitudes y las variables de las cuales dependen (definición operacional).

Es posible que la simulación no motive al estudiante a realizar cálculos ni operaciones con las ecuaciones representativas y luego vincularlas con las dos propiedades matemáticas más importantes de los campos vectoriales. Esto es, en el caso de campo eléctrico, describirlo por las propiedades *flujo eléctrico* y *circulación*, conceptos ignorados en el análisis realizado por los estudiantes.

Las actividades con el software seleccionado parecen adecuadas para alcanzar el objetivo principal de esta actividad de enseñanza: que los estudiantes analicen la potencialidad de la representación gráfica del campo eléctrico por medio de las líneas de campo y emplear la información que ella brinda para efectuar un análisis cualitativo de las cuestiones planteadas.

Sin embargo, se observa que los estudiantes no avanzan, en sus informes, más allá de dichas actividades. No se ha observado que acompañan el trabajo con un análisis cuantitativo del campo eléctrico y el potencial eléctrico al menos para alguna distribución de cargas y en un punto determinado, como criterio para fundamentar las gráficas y los valores que da en forma directa el programa de simulación. Si bien entre los contenidos y los objetivos del trabajo práctico figuraba el cálculo del campo eléctrico y el potencial de distribuciones de cargas, ninguno de los estudiantes procedió a formalizar un cálculo sobre la base de los contenidos teóricos para responder a la actividad B<sub>3</sub> (b) “para luego analizar e interpretar en base a las propiedades de los campos y potencial eléctrico...”. Para ellos el análisis y la interpretación quedó limitada a la descripción de lo observado y a la aplicación de propiedades, tal como la perpendicularidad entre líneas de campo y superficies equipotenciales o la tangencia entre el campo eléctrico **E** y las líneas de campo. En este sentido, un aspecto que emerge de este estudio es la necesidad de promover explícitamente que los alumnos hagan uso de las operaciones matemáticas involucradas en la resolución de las ecuaciones que relacionan el campo eléctrico, el potencial eléctrico y las variables carga eléctrica y su posición relativa.

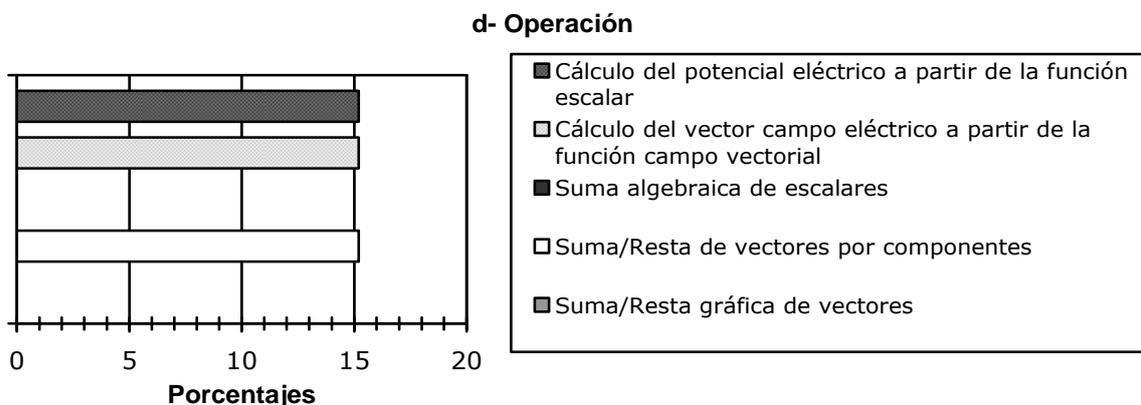


**Figura 6.34.** Distribución porcentual de respuestas adecuadas relativas a los indicadores de la categoría *representación*.

Del análisis de la categoría *representación* se infiere que los estudiantes recurren a las representaciones visuales que la simulación les provee para

efectuar un análisis de la relación entre campo, potencial eléctrico y las variables de los cuales depende. Aquellas representaciones que requieren de un mayor nivel de abstracción y tratamiento matemático se manifiestan en menor medida. Esto podría interpretarse debido a los modelos explicativos iniciales de los estudiantes en torno al concepto de campo eléctrico y a las dificultades en relación con el dominio teórico asociado con la situación.

Aparece nuevamente el efecto motivador del uso de la simulación y la atracción ofrecida por la imagen para dar sentido al significado conceptual y simbólico. Como recurso, la visualización favorece la interpretación de aspectos teóricos en forma global y moviliza a los estudiantes a exteriorizar sus propias ideas, pero limita en la formalización, y restringe la operacionalización matemática.



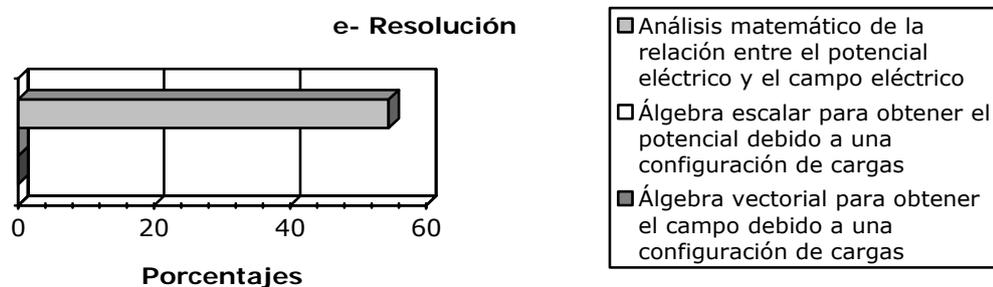
**Figura 6.35.** Distribución porcentual de respuestas adecuadas relativas a los indicadores de la categoría *operaciones*.

En las justificaciones expresadas por los estudiantes resultan escasas las operaciones matemáticas con las variables relacionadas al concepto de campo eléctrico. Se observa que no efectúan sumas vectoriales de los vectores campo eléctrico o sumas algebraicas de los potenciales, como modo de justificar la contribución de cada carga al campo y potencial en una zona del espacio. Pero sí lo hicieron en la resolución de lápiz y papel

fase II (tabla 6.11) cuando se les solicitaba analizar y fundamentar en qué punto o puntos colocarías una carga de prueba de modo que la fuerza resultante sobre la misma sea nula o analizar el tipo de equilibrio que experimenta la carga de prueba en cada caso.

Efectúan una exploración cualitativa del espacio mediante el uso del software siendo las justificaciones cualitativas. En este sentido el software presenta importantes ventajas visuales que deben ir acompañadas de una interpretación conceptual más profunda. Los estudiantes sólo hacen una justificación desde lo cuantitativo cuando las consignas del trabajo práctico la solicitan explícitamente.

En síntesis, este estudio muestra que si bien el software presenta importantes ventajas visuales para contribuir a la conceptualización, no resulta suficiente si no va acompañada de una interpretación más profunda desde lo cuantitativo



**Figura 6.36.** Distribución porcentual de respuestas adecuadas relativas a cada indicador de la categoría *resolución*<sup>11</sup>.

La Fig. 6.36 muestra la distribución de modalidades de la categoría *resolución*. De ella se puede concluir que los estudiantes limitan la resolución a la descripción de lo observado, entendiendo que con ello han

<sup>11</sup> Se utiliza una gráfica volumétrica para una mejor visualización de la distribución de la categoría *resolución*

---

completado la actividad. Desde este punto de vista no buscan justificar o validar mediante el desarrollo de un análisis matemático adecuado de la relaciones entre campo y potencial eléctrico.

Todos los conceptos utilizados son cercanos a los estudiantes y sin mayores dificultades matemáticas. Por otra parte desde las consignas de la actividad está fuertemente marcado el pedido de analizar el campo y el potencial eléctrico

**En síntesis:**

Al estudiar los distintos ítems propuestos en el trabajo práctico de simulación los estudiantes han evolucionado aceptablemente en interpretación de conceptos, construyendo el significado asociado a sus representaciones. El uso de la simulación ha contribuido a organizar un modelo mental del campo eléctrico, integrando a la representación mediante las líneas de campo el significado como campo vectorial a través de la imagen del vector tangente a ellas en cada punto. Se evidencia que han integrado los conocimientos de campo y potencial eléctrico a través de sus informes. Estas acciones les han exigido un alto nivel de comprensión, lo cual se ve reflejado en lo que han escrito y, por tanto, les ayuda en la construcción de representaciones cada vez más diferenciadas.

La modelización del campo eléctrico y magnitudes asociadas implica el conocimiento, por parte de los alumnos, de herramientas matemáticas que en gran medida le son desconocidas o que se están conociendo simultáneamente en otras asignaturas correlativas.

Los resultados obtenidos muestran una proyección superadora en los procesos cognitivos puestos en juego por los grupos de estudiantes. La metodología aplicada ha logrado un alto grado de compromiso por parte de los alumnos en el proceso de aprendizaje.

Es importante resaltar el carácter integrador de la experiencia, que incluye el análisis e interpretación de gráficos en dos y tres dimensiones,

promoviendo articular las habilidades adquiridas en los cursos de Análisis Matemático a los conceptos físicos: campo y potencial eléctrico.

Una de las variables que más perturbó en el desarrollo de la experiencia fue el tiempo que les demandó a los estudiantes la resolución de los aspectos involucrados en la actividad de autoevaluación, el cual fue mayor que el utilizado en las prácticas habituales. Cabe destacar que en la lectura de los informes producidos en esta Fase IV se observa un significativo avance en las descripciones y comparaciones escritas realizadas por los estudiantes, como muestran las transcripciones que acompañan a las figuras 6.28 a 6.30, si se lo contrasta con los resultados de la evaluación de la Fase I.

Los estudiantes debieron adaptarse a otra metodología en el desarrollo del trabajo práctico con el simulador a la cual no estaban habituados. Si bien esto constituyó una dificultad inicial, la motivación y la familiaridad con el ordenador contribuyó a la adaptación.

En el capítulo 7 se integran los resultados correspondiente a las Etapas 1 y 2 mostrando los avances logrados en la construcción del campo conceptual *perfil maxwellino* del campo eléctrico a través de la propuesta implementada.

## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSIONES**

#### **7.1. INTRODUCCIÓN**

La enseñanza y la evaluación en el contexto actual de la universidad implican el análisis de los problemas de la enseñanza y la construcción de diferentes propuestas que permitan actuar para su solución. De allí que es necesario atender, en primer lugar, a la diversidad, expresada en el tipo de programas que conforman a la institución, en las diferencias que existen entre las áreas de conocimiento y en las propuestas metodológicas y de evaluación que proceden de distintas disciplinas.

En segundo lugar, los problemas que subyacen bajo las temáticas denominadas *método, aprendizaje, formas de examen* sólo pueden ser interpretados en su justa dimensión en tanto se propicie una comprensión amplia de los mismos. De esta manera, bajo la perspectiva de cuestiones metodológicas, evaluatorias y de aprendizaje subyacen un conjunto de problemas de orden histórico-social, político-económico, institucional y psico-pedagógico.

La elaboración de herramientas evaluativas en educación es sólo el último eslabón en la conformación de las propuestas metodológicas. De esta

manera, es necesario aceptar que una propuesta técnica de enseñanza o de evaluación aislada no coadyuva a enfrentar con rigor los problemas que subyacen en el trabajo académico.

El examen, en cuanto a instancia final, es sólo un indicador relativo de aprendizaje. En alguna medida evidencia lo que fue sucediendo en el aula como expresión de una dinámica del trabajo cotidiano donde debería promoverse el desarrollo del pensamiento analítico, creativo y crítico. De hecho, estos procesos de pensamiento no pueden aparecer súbitamente en un examen, el cambio fundamental debe darse en el escenario metodológico.

En las carreras de ingeniería, los cursos básicos de Física, como el de Física Eléctrica, ubicados en los primeros años de formación, tienen una importante función en el desarrollo de las habilidades cognitivas implicadas en los procesos de conceptualización y formalización. Como se ha señalado en el capítulo 1, en los últimos años los desempeños de los estudiantes en los exámenes finales en la FIQ-UNL y en la FRSF-UTN han mostrado debilidades importantes que requieren una revisión de las estrategias didácticas utilizadas, sobre todo en relación con aquellos conceptos físicos básicos que constituyen modos de razonamientos de mayor nivel de abstracción.

En este trabajo se ha intentado contribuir a profundizar en el significado que los estudiantes construyen del concepto campo eléctrico en los cursos básicos universitarios y su relevancia en la currícula de las carreras de Ingeniería a través de la comprensión de enunciados (textos, resolución de problemas, trabajos prácticos de laboratorio y de simulación). Se ha partido del supuesto que una de las variables que más influye en el aprendizaje de conceptos es la forma de enseñarlos.

El aula es un espacio social donde existen formas particulares de comunicación y donde el discurso tiene una estructura distinguible y un

---

lenguaje específico. Por tal motivo, esta tesis se ha centrado en el aula para analizar los procesos que desarrollan los estudiantes cuando se resuelven problemas y situaciones problemáticas, realizan e interpretan trabajos prácticos de laboratorio real o con una simulación. Específicamente se ha indagado en la influencia de las características del enunciado en la comprensión del problema y en las inferencias elaboradas por los estudiantes. Se ha recurrido al análisis de su discurso escrito, desde lo lingüístico, epistemológico, metodológico y psicológico, como fue presentado en los capítulos 1 y 4.

También se ha analizado las situaciones de evaluación que se producen en el aula, tanto en el contexto de exámenes parciales y finales, cuando el estudiante resuelve problemas individualmente. Estas situaciones permiten buscar indicadores de aprendizaje en términos de contenidos y procedimientos. La investigación desarrollada comprendió dos etapas. La primera consistió en el **estudio preliminar del concepto de campo eléctrico en la resolución de problema**. La segunda etapa comprendió una **propuesta de intervención didáctica: diseño, implementación e indagación evaluativa**.

Con la implementación de la propuesta didáctica se buscó contribuir a la construcción de la concepción maxwelliana de campo desde su complejidad recurriendo a los aportes que pueden derivarse de la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud (1990).

## **7.2. CONCLUSIONES DE LA ETAPA I: ESTUDIO PRELIMINAR DEL CONCEPTO DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS**

En la primera etapa de la tesis, tomando elementos de los enfoques teóricos desarrollados en los capítulos 3 y 4, se procedió a analizar las actividades

en el marco natural de las clases de Física Eléctrica, en dos contextos universitarios diferentes: la FIQ-UNL y la FRSF-UTN. Para ello se tuvieron en cuenta las dimensiones y modalidades establecidas en la tabla 4.2.

Se presentan a continuación las conclusiones emergentes de la investigación realizada en esta primera etapa, en función de los siguientes objetivos que la orientaron:

- Conocer los procesos que acompañan la comprensión de los enunciados de problemas de campo eléctrico que realizan estudiantes universitarios de Física Eléctrica y su relación con los procedimientos de resolución derivados.

#### **A) OBSERVACIONES DE CLASES**

El análisis de las observaciones de clases, desde la perspectiva de las cuatro dimensiones de la investigación: epistemológica, psicológica, lingüística y metodológica, permitió evidenciar:

- *alto grado de pragmatismo en los estudiantes.* Fueron observadas reiteradamente expresiones entre los alumnos que responden a una intención de aprendizaje de los contenidos físicos basada en un criterio pragmático que expresa su posicionamiento frente a la formación del ingeniero: "y esto ¿para qué me sirve?, ¿tiene alguna aplicación?";
- *aceptación de lo instituido.* En estos casos, la respuesta inmediata de los docentes se asienta sobre cuestiones que atienden a recortes de tipo curriculares posicionando la disciplina "es una materia de formación básica." La actitud de docentes y alumnos de aceptar lo impuesto siendo partes interesadas es altamente preocupante;
- *uso de un modelo didáctico que no atiende a las particularidades cognitivas del sujeto que aprende.* La dimensión psicológica del estudiante es escasamente tenida en cuenta en forma sistemática por el docente. En la configuración didáctica de las clases, destinadas al contenido *campo eléctrico*, no se generan espacios específicos para

---

resignificar conceptos en un proceso constructivo de conocimientos. Sin embargo, fue posible registrar la manera en que algunos estudiantes "líderes" promueven esta acción mediante un trabajo colaborativo en las clases de resolución de problemas;

- *la concepción predominante en el tratamiento de los contenidos es operativa.* Se otorga reducido espacio para la construcción del significado físico de los conceptos y de expresiones simbólicas asociadas. Los procedimientos en las clases de resolución de problemas se orientan básicamente al cálculo, sin atender a la comprensión de la situación física, reconocimiento de condiciones de simetría. La resolución de problemas-tipo por el docente, como modelo didáctico hegemónico introducido por la cátedra, es aceptado por los estudiantes como reconocimiento de autoridad de saber. Podría decirse que este acuerdo tácito entre docentes y alumnos anula o limita argumentaciones que, desde la dimensión epistemológica, enriquecerían el significado físico de conceptos de mayor nivel de abstracción como, por ejemplo, el de potencial eléctrico. Si bien se pudo observar en el discurso de los docentes la importancia atribuida a los procesos de interpretación de los fenómenos naturales como base para contextualizar los conceptos y relaciones establecidas en la clase de Física Eléctrica, se pudo detectar en las relaciones establecidas la importancia que tiene el principio de la autoridad encarnado en el docente y en las normas establecidas por la cátedra.

## **B) ENCUESTA PARA DOCENTES**

Se puede concluir de acuerdo a lo manifestado en la encuesta por los docentes que:

- la resolución de problemas se asume como una transferencia de conocimientos, ocupando un lugar relevante como estrategia de enseñanza y como actividad de aprendizaje;

- reconocen como obstáculo en la resolución de problemas la ausencia de mención explícita del sistema bajo estudio por parte de los estudiantes y de su modelado, agravado por la tendencia a utilizar sólo los datos numéricos del problema.

Dos modalidades emergieron como las más significativas: la metodológica *centrada en la currícula* y la epistemológica *centrada en la componente física*. Sólo algunos docentes consideran aspectos relacionados con la comprensión del enunciado de un problema, en particular cuando proveen información no numérica (dimensión lingüística).

En general, existe acuerdo entre los profesores y jefes de trabajos prácticos sobre la manera en que se coordinan y distribuyen las funciones docentes para abordar la enseñanza de la resolución de problemas.

### **C) ENCUESTAS APLICADAS A LOS ESTUDIANTES**

Entre los resultados encontrados cabe destacar los siguientes:

- *relativas a cuestiones personales con el contenido*: reconocen, en general, que encuentran dificultades en la comprensión del contenido teórico correspondiente a la unidad campo eléctrico. También identifican las debilidades emergentes de no haber organizado y “asentado” estrategias de resolución asociada con las herramientas matemáticas pertinentes. También reconocen la importancia que tiene para su aprendizaje, su propia experiencia, los aportes recibidos de sus compañeros y las aclaraciones de sus docentes a las dudas planteadas. Valorán el aprendizaje logrado de estrategias para la búsqueda de información y su uso para resolver problemas;
- *relativas a cuestiones metodológicas con las actividades de aula*: ambos grupos manifiestan, en su mayoría, que es reducida la integración de contenidos en las evaluaciones y algunos objetan el nivel de complejidad de los problemas de examen frente a los que se resuelven las clases. Varios acuerdan con la forma de organización de las actividades (teoría-

---

laboratorio-problema), sin embargo, corresponde destacar que algunos estudiantes de la FRSF-UTN demandan cambios en las actividades de laboratorio. Ambos grupos sostienen que la carga horaria es excesiva para el cursado presencial establecido en el plan de estudio;

- *relativas al conocimiento científico*: existen concepciones diferentes en ambos grupos. Mientras los estudiantes de la FIQ-UNL sostienen la provisionalidad del conocimiento científico, un número importante pertenecientes a la FRSF-UTN le atribuyen característica de conocimiento permanente. No valoran durante el cursado la relación entre hipótesis – modelo - conceptos. Esto limita la capacidad de ir trabajando en forma continua y reflexiva los conceptos de manera de permitir una autorregulación del aprendizaje, en particular, reconociendo el perfil adoptado y su posible evolución.

Emerge de lo anterior que los estudiantes reclaman enfoques metodológicos que combinen, armónicamente, algunos modos tradicionales: clases expositivas, resolución de problemas y trabajos prácticos de laboratorio, situaciones o problemas que tengan vinculación tecnológica.

#### **D) ANÁLISIS DE DOCUMENTOS ESCRITOS**

En relación con el trabajo práctico de laboratorio relativo a los fenómenos electrostáticos (ver Anexo I), las actividades no resultan motivadoras para el estudiante, que repite los pasos a seguir indicados en la guía como una receta. Esto genera respuestas simples y con pocos aportes, tanto descriptivos, comparativos o explicativos, a los interrogantes planteados en la guía de trabajos prácticos. Esto señala formas de actuación semejantes a las comunicadas por Guisasola, Ceberio y Zubimendi (2003) en un estudio sobre resolución de problemas en el que reconocieron que la gran mayoría de los estudiantes formulan hipótesis descriptivas donde se mezclan las intuiciones personales con el marco teórico aprendido. En la forma que está estructurada la guía no es una base sólida sobre la que desarrollar algunas

actitudes fundamentales relacionadas con el conocimiento científico (curiosidad, confianza en los recursos propios, apertura hacia los demás, etc.). Estas características dan una pauta más al supuesto de la investigadora de que el trabajo práctico de laboratorio aparece como una actividad menor frente a la de resolución de problemas (capítulo 5, apartado 5.2.2).

Existe una desvalorización muy fuerte por parte de los estudiantes de esta tarea, pudiéndose destacar tres aspectos vinculados con las cuatro dimensiones trabajadas:

- el trabajo se plantea para encontrar respuesta a una cuestión concreta, a veces reducida a una simple comprobación;
- los estudiantes realizan de forma directa la exploración y la manipulación de los dispositivos, sin un sustento teórico firme;
- la inexistencia de explicaciones que vinculen los conceptos teóricos con lo observado en el experimento. Asimismo la ausencia de preguntas en la guía que vinculen los fenómenos observados con sus posibles aplicaciones tecnológicas impiden procesos de transferencia que enriquezcan la actividad práctica. Desde este punto de vista, los estudiantes dan evidencia de una reducida capacidad argumentativa, si bien presentan lo que Stipcich (2008) define como *concordancia estructural coherente*, pero sin dar muestras de *justificaciones explícitas aceptables* como sería deseable encontrar en las producciones escritas de los estudiantes universitarios de Física Eléctrica. Tampoco se observa que el docente busque promoverlo desde la guía de trabajo práctico, quizás sobreentendiendo que el estudiante universitario dispone de habilidades comunicativas (Wertsch, 1993);
- los estudiantes realizan procesos cognitivos de distinto nivel, según la forma en que se plantean las actividades: desde seguir instrucciones hasta diseñar procesos experimentales o efectuar extrapolaciones sobre

---

dispositivos que hayan observado en contextos cotidianos.

### **E) ENTREVISTAS A DOCENTES**

Los docentes de la asignatura aluden a debilidades de sus alumnos en las estrategias cognitivas requeridas para resolver problemas, tales como: búsqueda de recetas, ausencia de criterios para simplificar una situación conservando los atributos esenciales, diferenciación en la importancia asignada a los datos numéricos y literales. Consideran, además, que las mayores dificultades se hallan en el planteo del formalismo matemático y en la identificación de la geometría del problema, esto es, la consideración de posibles simetrías en la configuración de cargas, la lectura espacial asociada con las líneas de campo, superando la visión plana de las mismas presentes en la mayoría de los libros.

En cuanto a los docentes del ciclo superior de la especialidad, ellos coinciden en que el ingeniero debe aplicar el conocimiento para diseñar y desarrollar dispositivos, estructuras y procesos. Estas dos posiciones son complementarias, indicando que cuanto mejor se comprendan los principios básicos fundamentales, mejor y más profundas serán las respuestas a las situaciones planteadas.

### **F) CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ESTUDIANTES EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS**

Las resoluciones de problemas de campo eléctrico efectuadas por estudiantes de ambas Facultades en instancias de examen parcial y final se analizaron con las dimensiones, categorías y modalidades de la tabla 4.4. Las explicaciones derivadas mediante el estudio de las relaciones entre categorías sobre la base de tablas de contingencia, permitieron establecer las primeras aproximaciones para validar las hipótesis formuladas en esta tesis y relacionadas con la resolución de problemas de campo eléctrico:

- H1: El perfil conceptual depende del modo en que se presentan los datos en el enunciado de los problemas.

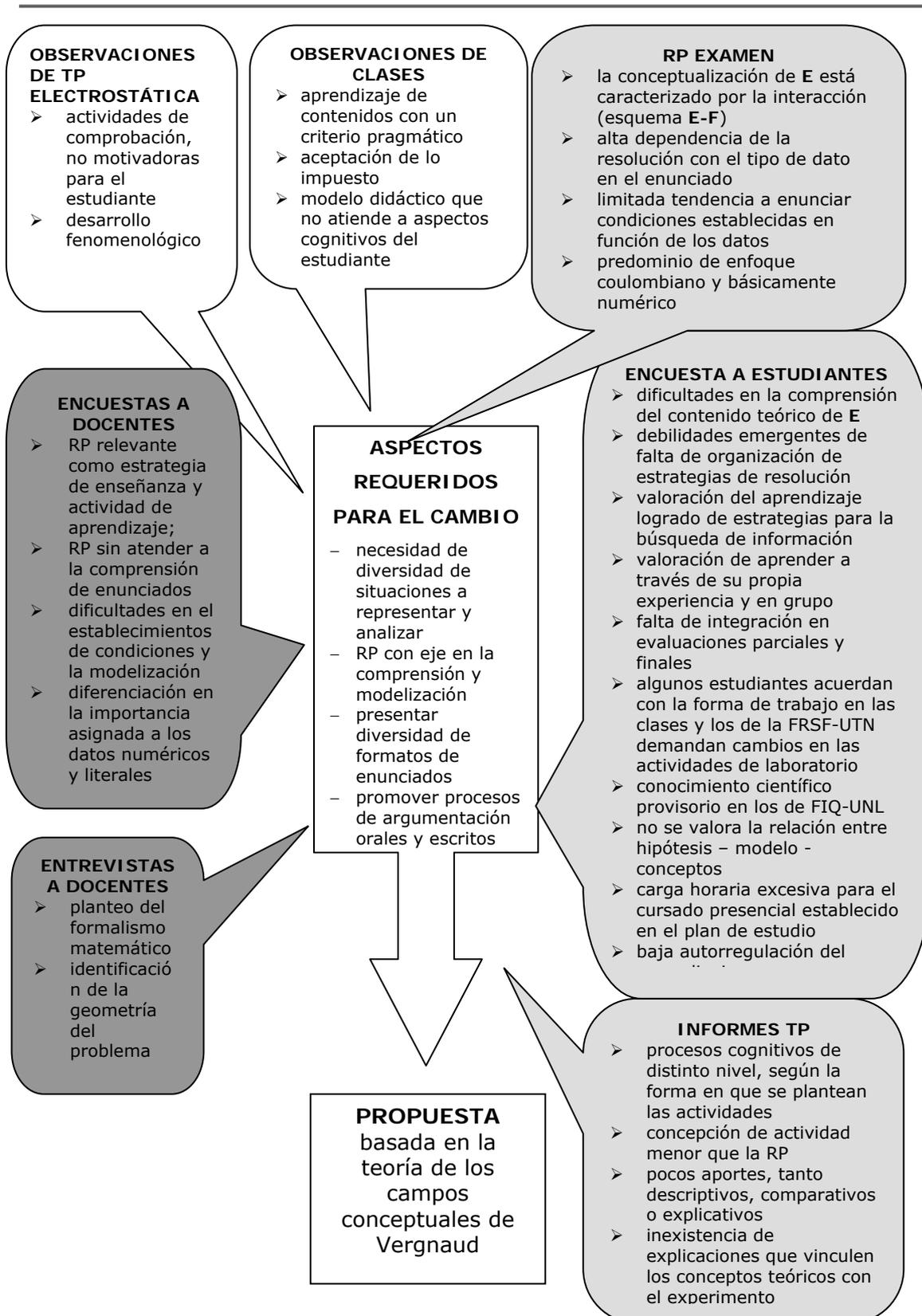
- H2 El dato condiciona el tipo de resolución.
- H3: El concepto de campo sólo es una construcción matemática.

Según lo presentado en el capítulo 5, y en la síntesis de final del capítulo, los resultados obtenidos muestran la vinculación de contenidos en función del nivel de complejidad conceptual del campo eléctrico **E** fue altamente significativa para la organización del perfil conceptual, permitiendo inferir que no sólo la presentación de los datos sino la vinculación de contenidos configura tanto el conocimiento físico como la estructura conceptual subyacente en los datos.

El estudiante que logra adquirir el perfil maxwelliano vincula los contenidos conceptualmente, mientras aquellos que están en el perfil coulombiano trabajan con los contenidos priorizando la operatoria o prevalece una explicación más intuitiva de carga como fluido como se puede inferir en un grupo de trabajos prácticos cuando analizan la experiencia Tipos de carga en capítulo 5, apartado 5.2.2. Es de destacar que esta explicación alternativa de los estudiantes que considera a la electricidad como un fluido es coincidente con otras investigaciones sobre las explicaciones de los estudiantes al movimiento de las cargas (Guruswamy y otros, 1997).

El planteo de hipótesis está muy relacionado con el nivel de complejidad conceptual del concepto de campo **E**. Mayoritariamente los estudiantes plantean las hipótesis en forma descriptiva vinculando los contenidos operacionalmente. Aquellos que vinculan conceptualmente los contenidos lo hacen en forma analítica valorando el planteo de hipótesis.

El concepto de campo **E** se construye con su característica vectorial y una fuerte formalización matemática, siguiendo un esquema **E**→**F** (campo eléctrico – fuerza). En la Fig. 7.1 se sintetizan algunos de los aspectos más destacados que fueron encontrados de la Etapa I de la investigación desarrollada en el capítulo 5.



**Figura 7.1.** Vinculación entre los resultados de la Etapa I y el diseño de la Etapa II

### 7.3. CONCLUSIONES SOBRE LA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DIDÁCTICA

Los resultados derivados de la indagación evaluativa que acompañó la implementación de la propuesta didáctica en la Etapa II de la tesis, que fuera presentada en el capítulo 6, se pueden resumir así:

- *Sobre la comprensión de un texto introductorio para el abordaje del concepto de campo eléctrico (Fase I).* Se encontró: reducida dificultad para identificar la información relevante; un 60% jerarquizó las ideas dadas en el texto y reconoció la idea principal, pero se reduce casi a la mitad el porcentaje de estudiantes capaces de establecer relaciones para confrontar datos; pocos son capaces de realizar procesos inferenciales; su producción en relación con el texto es básicamente descriptiva, siendo pocos los estudiantes que formulan explicaciones o justificaciones; las argumentaciones que justificarían las expresiones del texto, sólo hacen referencia a un modelo mecanicista de los fenómenos eléctricos; las representaciones gráficas realizadas en relación con el contenido del texto son básicamente esquemáticas, elementales en su funcionalidad y reproducen dibujos de libros de texto o notas de clase del profesor. Las representaciones gráficas incorporan el lenguaje simbólico propio del contenido tecnológico transmitido por los textos utilizados por el docente. El lenguaje que se pone en evidencia (etiquetas verbales y la relación con el texto) juegan un papel destacado en la conceptualización y la acción puesta en evidencia en las justificaciones de los estudiantes. Se establece una fuerte conexión entre la imagen y el texto del modo más lógico y sencillo y un menor uso de las figuras de construcción que aparecen en los textos científicos utilizados para dar a la expresión del pensamiento mayor contundencia, según se ha consignado en el capítulo 6 (Fase I, apartados A, B y C).
- *Sobre la resolución de un problema enunciado con cuatro formatos (combinando con y sin datos numéricos; con y sin gráfica) (Fase II).* Se

---

encontró que un número significativo de estudiantes tuvo dificultades para reconocer que las diferentes configuraciones de cargas, ante una rotación cíclica de las mismas, generan campos eléctricos diferentes por su dirección resultante aunque conservando el módulo. Esto denota una limitación en el significado vectorial del concepto de campo eléctrico  $E$ , resultado que complementa las dificultades encontradas por Sousa y Favero (2002) sobre las dificultades de los estudiantes en el tratamiento vectorial del campo eléctrico

Las situaciones formuladas se analizaron a la luz de la teoría de Vergnaud, considerando los invariantes operatorios (conceptos-en-acción y teoremas-en-acción) y los conocimientos asociados que se supone deberían estar presentes en el momento de resolver las cuatro situaciones problemáticas planteadas, desde un saber experto. En relación con los conceptos-en-acción, se observa en la tabla 6.12, que la carga de prueba es específicamente referenciada cuando la situación es planteada en forma cualitativa, teniendo un rol diferenciado respecto de las cargas consideradas para organizar la configuración. En las situaciones cuantitativas la función de la carga de prueba queda diluida. En todos los casos se han puesto en juego los conceptos de: configuración espacial (si bien la forma de organizarla se ve diferenciada), fuerza eléctrica, dipolo eléctrico, equilibrio de fuerzas, líneas de campo, simetría y campo eléctrico  $E$ . Si bien en todas las situaciones la presencia de la distribución en los vértices de un cuadrado ha orientado el estudio de la simetría de las configuraciones posibles hacia la de tipo central, es importante destacar que frente a una situación cualitativa con gráfica se ha avanzado en el estudio de otras simetrías y rotaciones.

Con referencia a los teoremas-en-acción se ha podido reconocer que la organización de las configuraciones de carga han seguido un ordenamiento atendiendo a los signos y cantidad de cargas componentes (4, 3 y 2 cargas del mismo signo). Sólo en la situación cualitativa con gráfico, 5 estudiantes

han reconocido la diferencia que tendrá el campo **E** frente a una rotación, para una misma configuración de carga.

Para predecir el o los punto/s donde una carga de prueba estaría en equilibrio, los grupos que resolvieron la situación cualitativa apelaron a un enfoque coulombiano analizando las fuerzas debida a cada carga y la resultante, con una posterior consideración del campo **E**, (esquema **F**→ **E**) mientras que aquellos que resolvieron la situación cuantitativa se focalizaron en el reconocimiento de dipolos en la configuración, y en el análisis de las líneas de campo, el efecto de su superposición para luego dar información sobre la fuerza (esquema **E**→ **F**).

Todos los grupos recurrieron a la consideración de superficies gaussianas para inferir en qué otros puntos el campo **E** sería nulo, dando evidencias de comprensión y uso operativo de la noción de flujo del campo **E**.

La presencia de la gráfica no provocó cambios sustantivos en la resolución, quizás por la sencillez de la geometría. Sin embargo el carácter del problema (cualitativo – cuantitativo) no sólo influyó en el esquema activado sino también en la cantidad de inferencias producidas, siendo mayor en las situaciones cualitativas.

La realización de situaciones problemáticas que deban poner en juego los esquemas de los estudiantes, permite no sólo identificar el nivel de conceptualización en los alumnos sino poner en discusión las metas de aprendizaje y la elección adecuada de las actividades en el aula.

En este sentido puede citarse, por ejemplo, el uso del esquema de campo de un dipolo para organizar el campo de 4 cargas de igual valor absoluto ubicadas en los vértices de un cuadrado: 2 positivas y no negativas, alternadas.

- *Sobre la resolución de cinco cuestiones que requerían la aplicación de los conceptos desarrollados en las clases, incluyendo análisis, cálculos y diferentes formas de representación (Fase III). Los invariantes operatorios*

---

que pudieron inferirse a través de las actuaciones de los estudiantes (capítulo 6, Fase II) dan evidencias de su función esencial para dar sentido al concepto de campo en cada situación en particular. Pero, al mismo tiempo, otros invariantes operatorios, de naturaleza matemática, parecieran articularse con los primeros para ir componiendo con mayor generalidad y frente a los rasgos básicos y comunes el concepto de campo.

En esta instancia se encuentran evidencias de esquemas ya organizados para hacer un gráfico o un diagrama. Las respuestas a las distintas situaciones analizadas por los cuatro grupos, evidencian una diversidad de esquemas activados frente a la situación nueva. Los grupos no poseen esquemas generales desarrollados en relación a las situaciones planteadas, algunos de los invariantes identificados no se corresponden con los modelos teóricos científicos aceptados. Sin embargo en las actuaciones de los estudiantes al abordar la resolución de la situación 1 y teniendo en cuenta las reglas de acción e invariantes operacionales mostrado en la tabla 6.14 del capítulo 6, se presume la activación de un esquema elaborado para el campo eléctrico de una distribución con simetría esférica y una aplicación implícita de la ley de Gauss, sin proceder al cálculo del flujo eléctrico ni a un análisis de la inducción de cargas sobre el cascarón conductor externo por la generalidad de los estudiantes.

Para la situación 2 (tabla 6.15) los estudiantes dan evidencias de la activación de un esquema asociado a las configuraciones de campo eléctrico y de superficies equipotenciales correspondiente a una carga puntual. Aún existiendo la identificación de la orientación de las líneas de campo eléctrico, la misma remite básicamente a una cuestión nemotécnica más que a la consideración del carácter vectorial del campo eléctrico.

Para los estudiantes la caracterización de mayor significado del campo eléctrico está vinculada con la orientación de las líneas de campo, asociada con el conocimiento de la carga de la configuración y forma de la

distribución. Un solo estudiante fue capaz de vincular las superficies equipotenciales con la circulación sobre el campo eléctrico.

En cuanto a la situación 3 (tabla 6.16) la caracterización de mayor significado del campo eléctrico está vinculada con la orientación de las líneas de campo, asociada con el conocimiento de la carga de la configuración y forma de la distribución.

En los discursos escritos de los estudiantes para la situación 4 (tabla 6.17) se infiere que están vinculadas a un esquema de activación referido a la alta simetría para aplicar la ley de Gauss y la condición de equilibrio asociado a campo eléctrico  $E=0$ . Con respecto al concepto de potencial parecería estar muy relacionado con las distancias de las cargas al punto más que con la circulación del campo eléctrico  $E$ .

Por último, en la situación 5 (tabla 6.18) se advierte la alta vinculación que existe entre la capacidad y la noción de un espacio como reservorio de energía eléctrica. En 21 de los 42 estudiantes se manifiesta la relevancia que asume en ellos un esquema basado en una analogía basada en la cantidad de fluido que puede contener un recipiente.

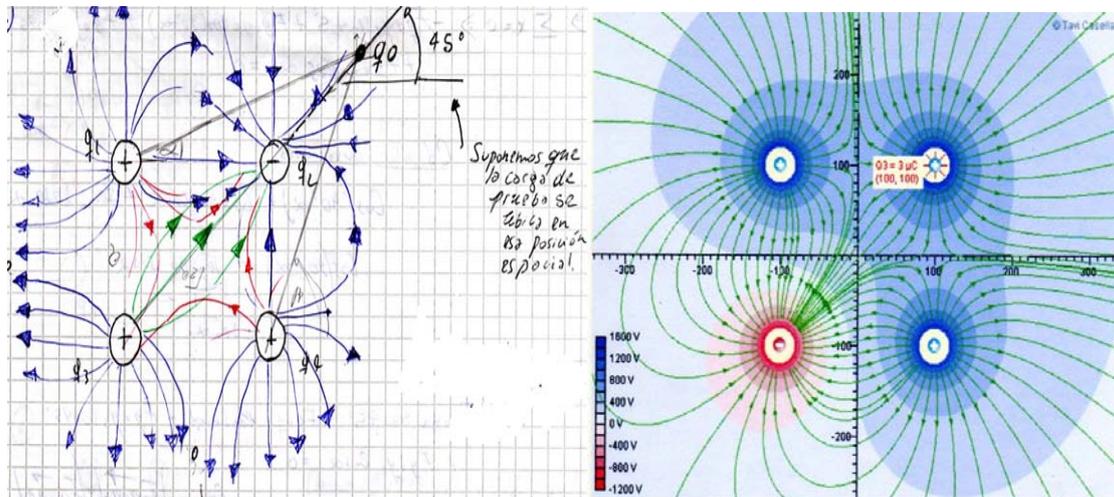
- *Sobre la implementación del trabajo práctico de simulación (Fase IV).* La actividad mostró su eficacia para promover una evolución en el pensamiento de los alumnos hacia una comprensión científica actual del concepto de campo eléctrico  $E$ . En este sentido se reconoce el aporte positivo del software de simulación para el aprendizaje conceptual, concordando con los resultados obtenidos por Araujo, Veit y Moreira, (2007) quienes también señalan las posibilidades de interacción y visualización ofrecidas por este tipo de actividades como estrategia de enseñanza. La identificación de esquemas para una clase definida de situaciones como las presentadas en el trabajo práctico de simulación atribuidas al campo eléctrico significó un avance hacia la identificación del campo  $E$ , diferenciándose del concepto de fuerza eléctrica  $F$ . Los resultados dieron

---

cuenta de un cambio importante con respecto a los modelos explicativos iniciales de los estudiantes en la medida que reconocieron las ventajas y desventajas de sus explicaciones (capítulo 6, Fase IV). El trabajo de simulación y la interpretación efectuada por los estudiantes de las imágenes da indicios de la organización cognitiva lograda por los mismos, con rasgos de lo que Vergnaud define como esquema. Siendo la noción cognitiva básica para Vergnaud (1990) la de esquema que describe como "la organización invariante de la conducta para una clase de situaciones" (p.136). La noción de esquema incorpora procedimientos (modos de actuar) y elementos técnico-teóricos implícitos (conocimientos-en-acto) que están asociados en este caso a la situación planteada en el trabajo práctico de simulación.

Los estudiantes pudieron comprobar que la presencia de una carga de prueba en un campo eléctrico no altera la distribución o movimiento de las cargas que crean el campo. Reconocieron que la carga colocada en el campo no necesita estar fija, sino que podría acelerarse en respuesta a la fuerza eléctrica que experimenta. Reconocieron las distintas configuraciones espaciales de cargas con diferentes posibilidades de signos y de valores a adoptar y proponer diferentes ubicaciones espaciales

Un esquema detectado en la actuación de algunos estudiantes es el que podría denominarse de "dipolos consecutivos" aplicado para caracterizar el campo en la región central de una configuración cuadrada de cargas. Éste consiste en identificar cada par de cargas que conforman dipolos en la configuración, organizar las líneas de campo correspondientes e integrarlas recurriendo a un principio de superposición. En la figura 7.2 a y b se muestra la representación gráfica realizada por el grupo 2 en las fases II (Análisis de la resolución de una situación problemática con diferentes enunciados) y fase IV (autoevaluación).



**Figura 7.2.** Representación del campo eléctrico mediante líneas de campo y potencial eléctrico generado cuatro cargas: tres positivas y una negativa, para la resolución de la fase II y la fase IV realizadas por el grupo 2.

Por otra parte el software les ha facilitado la interpretación por líneas de campo, que permite reconocer la dirección y el sentido de campo eléctrico mediante el trazado de tangentes a las líneas de campo en cada punto, pudiendo comprobarse las singularidades, tales como el campo nulo.

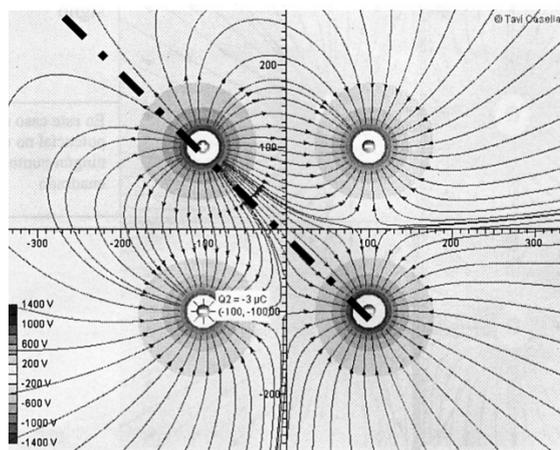
De la argumentación de los estudiantes se puede inferir que existe una aproximación a interpretaciones más abstractas, dando significado a la representación de  $\mathbf{E}$  mediante líneas de campo en función de la representación vectorial de  $\mathbf{E}$  como tangente a la línea de campo en cada punto del espacio y de forma que cada uno de ellos dé la intensidad y la dirección en ese punto.

Con la visualización del campo y potencial eléctrico generado por las distintas configuraciones de cuatro cargas puntuales, solicitadas en el trabajo práctico, los estudiantes tuvieron la oportunidad de obtener una representación tridimensional girando la figura en torno del eje de simetría.

---

Los trabajos prácticos evaluados muestran una diversidad de esquemas específicos, dependientes de la situación planteada y dependientes del desarrollo conceptual de los estudiantes. Los resultados obtenidos verifican las estructuras de representación simbólicas y significados que dan forma a los invariantes operatorios que utilizan los estudiantes para las situaciones planteadas que involucran una conceptualización aceptable del concepto de campo eléctrico.

Esto constituye un avance cualitativo en la conceptualización del concepto de campo eléctrico, evidenciado en las respuestas de los estudiantes presentadas en capítulo 6



**Figura 7.3.** Pantalla con la simulación de líneas de campo para tres cargas negativas y una positiva interpretación del grupo 1 de las líneas de campo y la posición donde se anularía el mismo.

#### 7.4. SÍNTESIS DE LA INDAGACIÓN EVALUATIVA

Se ha discutido en esta tesis acerca de la importancia de la comprensión de los enunciados de campo eléctrico  $E$  para la enseñanza de la Física, considerando el carácter estructurador del mismo.

Luego se establecieron los lineamientos físicos, el marco teórico de la investigación y la metodología empleada. Finalmente, y a través de una propuesta de implementación en el aula, se realizó una evaluación de la misma.

Para la implementación de la propuesta didáctica, centrada en estrategias de comprensión y análisis de situaciones diversas tomando como marco teórico la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, se elaboraron materiales instruccionales pertinentes

De acuerdo con las distintas intervenciones (comprensión de texto, situaciones problemáticas, resolución de cuestiones y un trabajo práctico de simulación) que dieron cuenta de los modelos y esquemas que los estudiantes tienen más arraigados, se ha podido observar una evolución en la comprensión del concepto de campo eléctrico **E**.

Inicialmente en la primera etapa de la investigación se identificaron elementos en las producciones que los estudiantes que permiten inferir rasgos de modelos mentales compatibles con el modelo coulombiano (acción a distancia). Sus actuaciones durante la lectura de enunciados de problemas y al resolverlos estaban centradas básicamente en los datos brindados. Se ha encontrado que el perfil conceptual, discutido en el capítulo 5 fase II, utilizado en las resoluciones dependía del modo en que se presentaran los datos en el enunciado de los problemas. Sin embargo, con el desarrollo de la unidad didáctica, los estudiantes fueron incorporando elementos del modelo de campo para analizar las distintas situaciones, manteniendo aún elementos de sus modelos explicativos iniciales. Los estudiantes fueron modificando su comprensión del campo eléctrico y conceptos asociados en la medida en que reconocían las ventajas y desventajas de sus aplicaciones.

Esto da indicios que el material aportado en las distintas fases de la propuesta didáctica ha sido efectivo para construir estructuras conceptuales

---

complejas, a partir de otras más simples que involucran tres procesos: reestructuración, explicitación progresiva e integración jerárquica (Pozo y Gómez Crespo, 1998).

Las conclusiones más relevantes de esta tesis se pueden plantear desde dos ángulos: el metodológico y el conceptual. De cada uno de ellos emergen aspectos que vinculan, en interacción permanente, el conocimiento teórico, la resolución de problemas y las prácticas de laboratorio para la conceptualización del concepto de campo eléctrico.

**Aspectos metodológicos:**

*- Se diseñaron problemas, cuestiones y situaciones para la intervención didáctica de la propuesta que dieran sentido al concepto de campo eléctrico **E**.*

Esto dio lugar a la interacción entre los conocimientos teóricos, prácticas de laboratorio y situaciones –problemas y cuestiones- para la conceptualización del concepto de campo **E** desde la perspectiva teórica de los Campos Conceptuales.

*- Se enfatizó el papel del docente como intermediario y gestor de situaciones para el logro de la conceptualización del concepto de campo **E**.*

Esto propició que el docente asuma la necesidad del diseño curricular en su práctica docente y se comprometa a realizar aplicaciones constantes para que sus estudiantes logren aprender a aprender.

*-Se favoreció el análisis y la caracterización de situaciones y cuestiones que se establecen entre la organización de los contenidos, su enseñanza y evaluación en torno al concepto de **E**.*

Esto requirió del estudio de las unidades temáticas 1 y 2 (Electrostática) en busca de la identidad de cada tema y su aplicabilidad al proceso de enseñanza-aprendizaje desde la perspectiva de la Teoría de los Campos Conceptuales considerando que es la que más nociones cognitivas

introduce: esquema, invariantes operatorios, concepto y campo conceptual auxiliando en el análisis de las actividades propuestas para la Etapa II. Por otra parte pone el énfasis en la dimensión personal es decir del sujeto que aprende

*-Se implementó la autoevaluación en la fase de la indagación evaluativa. Esto supone un reto para el docente y se transforma en un medio para que el estudiante progrese en autonomía personal y en la responsabilidad de sus propias actuaciones.*

### **Aspectos Conceptuales**

*-Se identificaron y analizaron las representaciones gráficas que privilegian los estudiantes frente a situaciones que se relacionen con el concepto de campo E.*

Esto posibilitó conocer los aspectos de la conceptualización inicial a partir de los invariantes operatorios inferidos en las distintas situaciones.

Efectivamente, como menciona Llancaqueo, Caballero y Alonqueo (2007) "los estudiantes cambian la forma de enfrentar las situaciones, que demandan el uso de conceptos del campo conceptual del concepto de campo, con la enseñanza" (pp.186).

Por otra parte y en consonancia con lo expresado por Stipcich (2006) "la construcción de estructuras conceptuales complejas está condicionado por distintos factores que participan en las situaciones de aula: las actividades con que se trabaje el contenido en cuestión, las intervenciones del docente durante el tratamiento de esas actividades, la historia previa de los estudiantes con esos contenidos, etc." (pp. 362).

*-La inferencia de los posibles conceptos-en-acción y los teoremas-en-acción que estarían utilizando los estudiantes para organizar el concepto de campo E estudiantes.*

---

Se evidenciaron conceptos-en-acción y teoremas-en-acción a lo largo de la intervención didáctica detectándose una evolución al concluir la misma. Sin embargo, algunos estudiantes atribuyen, luego de la intervención didáctica, el mismo significado al concepto de campo y al de potencial eléctrico, requiriendo trabajar más la noción de potencial eléctrico relativa al nivel de referencia, dando así diferente significado a los comportamientos de campo vectorial y escalar.

*-La interacción entre situaciones, problemas, cuestiones y el trabajo práctico de simulación para la conceptualización del concepto de campo  $E$ .*

Durante la intervención didáctica los estudiantes pusieron de manifiesto esquemas que culminaron en la autoevaluación con niveles adecuados de conceptualización del concepto de campo  $E$ .

*-El desarrollo de esquemas eficientes para resolver situaciones y cuestiones que involucran el concepto de  $E$ .*

Esto se evidenció en la diversificación de los esquemas de acción del estudiante frente a las distintas situaciones planteadas en la indagación evaluativa.

En la Fig. 7.2 se sintetizan algunos de los aspectos más destacados que fueron encontrados de la Etapa II de la investigación desarrollada en el capítulo 6.

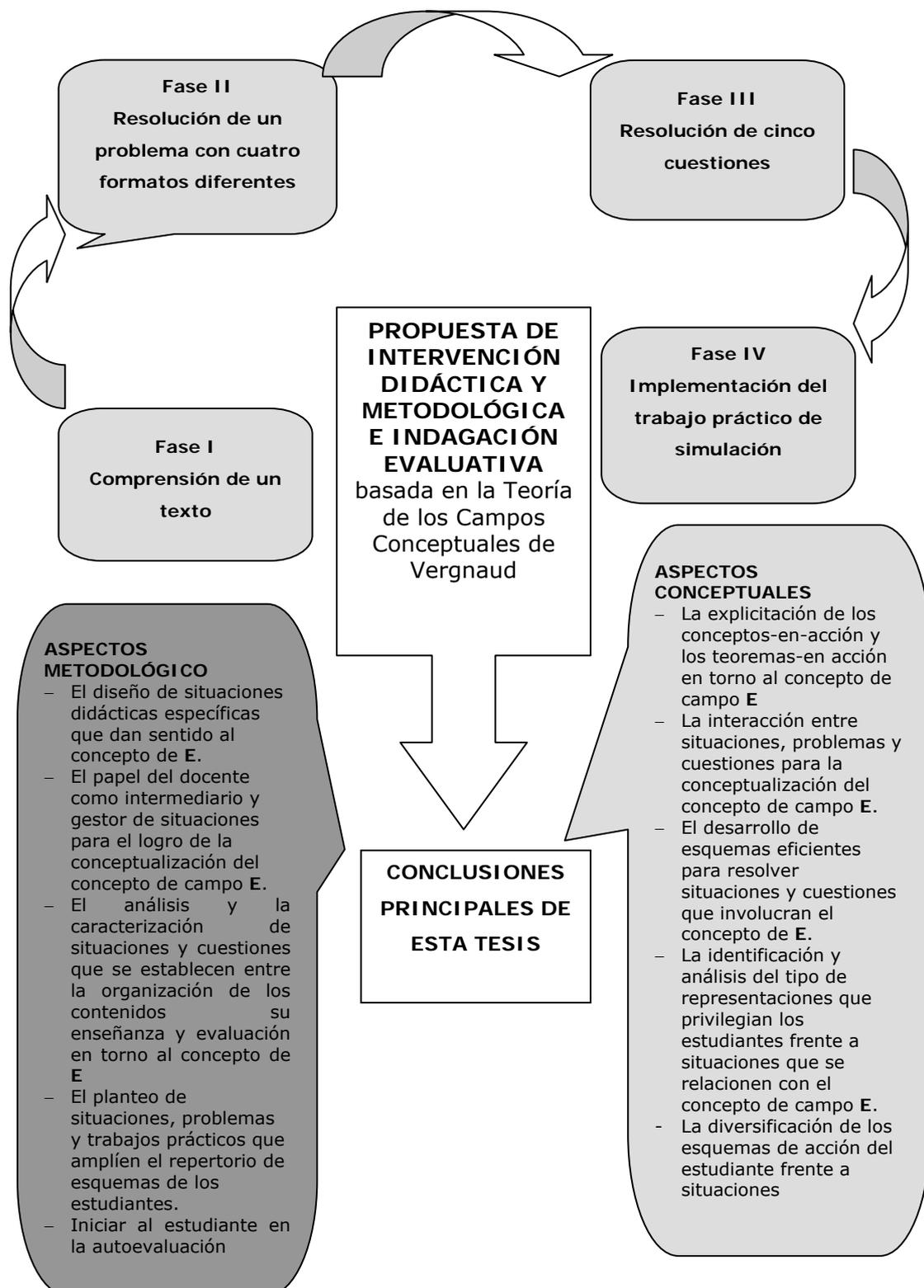


Figura 7.4. Vinculación entre las Fases I, II, III y IV las conclusiones principales de la tesis.

---

## 7.5. CONSIDERACIONES FINALES

Como dato adicional, analizando las encuestas académicas que realiza la FRSF-UTN anualmente, se ha detectado un mayor número de aprobados en la asignatura Física Eléctrica en los estudiantes que participaron en la implementación de la propuesta y mejores respuestas hacia las actividades implementadas en el marco de esta tesis. A partir de esta investigación se siguieron utilizando los materiales elaborados y en la actualidad se están formulando otros nuevos para que sean utilizadas por el resto de los docentes del Departamento de Física que dictan Física Eléctrica.

Es importante destacar que en el área de las ingenierías se viene discutiendo la definición de competencias para determinar niveles de comprensión en el aprendizaje en los estudiantes. Por este motivo las autoridades de las universidades están muy preocupadas por las competencias que deben tener los estudiantes ya que las empresas las requieren.

“Este concepto de competencias es muy importante en el trabajo, especialmente la definición *A es más competente si está menos desprovisto ante una situación nueva*, dado que los hombres y las mujeres están cada vez más confrontados a la resolución de problemas. Es además una idea válida igualmente para la educación. Pero la idea de resolución de problemas no tiene sentido en sí misma, y no se la debe oponer a la de conocimiento: en efecto sin conocimiento, no se tienen medios para enfrentar situaciones nuevas; de manera análoga, se puede decir que el concepto de competencia no es un concepto científico él solo; es necesario añadirle el de la actividad y son necesarios conceptos teóricos para analizar la actividad. Éste es el rol que doy al concepto de esquema” (Vergnaud, 2007, p.291).

En función de lo analizado se puede concluir que un trabajo integral en el aula permite construir esquemas superadores en los estudiantes para abordar conceptos y aplicarlos a nuevas situaciones.

Las actividades de indagación evaluativa estuvieron dirigidas considerando que el logro de un aprendizaje significativo supone la organización de relaciones entre los conceptos aprendidos, su almacenamiento como estructura en la memoria de largo plazo, de modo que pueda ser activada globalmente en el momento que se la requiera. Esto facilita en los estudiantes la adquisición de nuevos conocimientos relacionados con los adquiridos en las otras actividades propuestas, si las mismas han sido significativas.

Por otra parte, los conocimientos sólo adquieren generalidad si los elementos que los definen son aprendidos por el estudiante, al margen de situaciones particulares. Esto implica que los conocimientos adquiridos en la Unidad Didáctica deben estar integrados en una red de conceptos que el estudiante ha comprendido mediante un proceso de reflexión sobre los conceptos y teoremas en acto.

## **7.6. IMPLICANCIAS DE LA INVESTIGACIÓN**

La adquisición de conocimientos, tanto declarativos, como procedimentales y actitudinales está moldeada por las situaciones y problemas previamente abordados, teniendo en cuenta que ese conocimiento tiene características contextuales y contribuye a la organización de esquemas que pueden activarse al encarar nuevas situaciones problemáticas (Vergnaud, 1990).

En esta tesis se ha considerado el aprendizaje básicamente como un proceso de construcción de conocimientos en el que las representaciones de los estudiantes juegan un papel importante y se ponen de manifiesto

---

cuando razonan, explican y desarrollan actividades que comprometen respuestas para resolver distintas situaciones problema.

Los resultados alcanzados en esta investigación pretenden ser un aporte para la construcción del concepto de campo eléctrico dentro del entramado disciplinar de la Física para las carreras de ingeniería, y las posibilidades que ofrecen las situaciones problemáticas con diferentes configuraciones de cargas y el software de simulación para avanzar en el carácter vectorial del campo eléctrico, estableciendo las relaciones y las diferencias con un campo escalar como es el del potencial eléctrico a partir de esquemas para su conceptualización

En relación al párrafo anterior según Llancaqueo y otros (2007) “es frecuente encontrar que los estudiantes resuelvan problemas con soluciones satisfactorias, usando invariantes que ya poseen, sin embargo en situaciones diferentes, no llegan a enfrentar la situación. Esto sería debido a que sus conocimientos explícitos, no constituyen esquemas que puedan aplicar a situaciones distintas. No obstante estos conocimientos-en-acción de los esquemas pueden ser precursores en la adquisición de significados de los conceptos científicos a partir de la enseñanza” (pp. 186).

La conjunción de los aspectos disciplinares colaboraría en la conformación de una estructura conceptual más compleja fundamentada en el modelo de campo en contraposición al modelo de acción a distancia.

Recuperando lo antes expresado en el capítulo 3 al desarrollar el marco teórico, especialmente en la Etapa II que estuvo marcada por la teoría de los Campos Conceptuales, cada dominio conceptual puede abordarse por una sucesión de situaciones (resolución de cuestiones problemáticas, comprensión de texto, trabajos prácticos de laboratorio real o virtual). Esto orientará la toma de decisiones de futuras propuestas curriculares y didácticas que tengan en cuenta el concepto de campo eléctrico **E** como eje

a nivel de los contenidos, de las secuencias de ellos y de los sistemas de evaluación a utilizar.

Los aspectos positivos de esta propuesta fueron:

- la motivación puesta de manifiesto por los estudiantes;
- la construcción por parte de los estudiantes de nuevas estructuras conceptuales más complejas que las que disponían inicialmente para interpretar los fenómenos eléctricos;
- el acuerdo ofrecido por el docente de la asignatura a los criterios de selección y secuenciación de contenidos planteados por la tesista y su colaboración para la implementación de las actividades.

Merece una consideración particular los programas de simulación. Éstos son recursos complementarios y no soluciones definitivas para el aprendizaje de algunos conceptos. Sin embargo, se consideró altamente positiva para el proceso de aprendizaje la integración de experiencias de laboratorio, con las actividades de simulación propuestas en la fase IV. El material didáctico utilizado permitió a los estudiantes realizar diferentes actividades respetando sus aprendizajes y su creatividad, además del trabajo colaborativo y el compromiso del colectivo involucrado.

La información ofrecida a los estudiantes a través del entorno abierto de aprendizaje promovió que sean ellos mismos quienes avancen en la construcción de su propio conocimiento mediante la indagación y planteo de situaciones no tradicionales, favorecida por una inmediata visualización de los fenómenos eléctricos estudiados y su modelización. Analizando el comportamiento de las configuraciones (Fase II), que se tornan dificultosas de alcanzar en el laboratorio tradicional y su comparación con las representaciones de lápiz y papel realizadas, sobre la base de un trazado de líneas o vectores sobre un espacio de interacción imaginado. El trabajo práctico de simulación constituye un adecuado recurso que favorece la construcción de imágenes sobre las modificaciones del espacio que

---

producen diferentes configuraciones de cargas. El trabajo experimental tradicional sobre la cubeta electrostática permite efectuar mediciones de líneas con igual potencial eléctrico, pero conformar una imagen gráfica supone un proceso de abstracción que demanda una mayor carga cognitiva y, por lo tanto, un mayor tiempo para que se efectúan procesos reflexivos en los estudiantes.

Finalmente, el trabajo de simulación permitió recuperar y reelaborar conceptos desarrollados previamente posibilitando una profundización del proceso de aprendizaje y el desarrollo de habilidades metacognitivas en los propios estudiantes.

A través del estudio se han identificado aspectos que deben orientar algunas mejoras a la propuesta, tales como:

- La incorporación de nuevas actividades de resolución de problemas vinculadas con aspectos de interés profesional para las carreras de ingeniería, como fue reclamado como necesarias por los estudiantes en las encuestas y entrevistas. Esto debe ser complementado con un avance acerca de los modos de organizar el contenido de los problemas como expresión de criterios amplios donde la mirada docente se posicione no sólo en lo conceptual a enseñar, sino en el contexto en que ese contenido será requerido en instancias específicas de asignaturas vinculadas con la función profesional, dentro del ámbito universitario y, posteriormente, ante las demandas del ejercicio laboral.
- El avance en investigaciones sobre otros contenidos y la necesidad de complementar con problemas de lápiz y papel e incorporar el uso de simulaciones que aporten en la construcción de concepciones científicamente adecuadas de los distintos contenidos abordados.
- La formación de docentes dentro de la Unidad Docente Básica de Física de la FRSF-UTN para que continúen aplicando la propuesta didáctica,

sobre todo considerando que muchos de ellos son ingenieros o físicos sin formación didáctica específica.

Por último, en esta investigación se ha implementado la propuesta didáctica desde un referencial teórico que está siendo cada vez más aplicado en la enseñanza de la Física. Si bien las conclusiones obtenidas son parciales y reducidas a una población de estudiantes podrían ser generalizables realizando otros estudios a fin de ampliar la confiabilidad de los resultados obtenidos en esta tesis.

### **7.7. DERIVACIONES DE ESTA INVESTIGACIÓN**

La implementación de la propuesta didáctica dio respuestas satisfactorias a en cuanto al avance manifestado por los estudiantes desde la fase I (capítulo 6, apartado 6.4.1) en la cual los estudiantes dan indicios de la aplicación de invariantes operatorios asociados con la noción de interacción eléctrica desde un esquema coulombiano. En la fase II (capítulo 6, apartado 6.4.2) se infiere a través de las producciones de los estudiantes que son invariantes operatorios que utilizan: *la dependencia del campo eléctrico con los signos de las cargas eléctricas y la simetría de cargas*, no así modificaciones introducidas por una eventual *rotación de las cargas*. Este último es un aspecto que debería ser objeto de otra indagación.

En la fase III (capítulo 6, apartado 6.4.3) se detecta un adecuado nivel de conceptualización por cuanto los estudiantes evidencian correctos niveles de explicitación de invariantes y sus representaciones, niveles importantes de dominio entre las relaciones operacionales y funcionales del campo  $\mathbf{E}$  y otras magnitudes físicas ( $Q$  y  $r$ ). Se observa que un número significativo de estudiantes reconocen y asumen la ley de Gauss como una relación de igualdad entre dos magnitudes escalares: flujo del campo eléctrico y carga

---

queta encerrada por la superficie donde se evalúa el flujo. También se registró facilidad de manejo de las integrales de línea para establecer de las relaciones entre campo y potencial eléctrico. Una cuestión que emerge, para ampliar el conocimiento en el aprendizaje de estos contenidos, es la siguiente: ¿cómo integra un estudiante las nociones del cálculo integral (de superficie y de línea) aprendidas en el curso de Análisis Matemático con las propiedades físicas asociadas al campo eléctrico bajo un perfil maxwelliano?

En la fase IV (capítulo 6, apartado 6.4.4) el trabajo práctico de simulación contribuyó para que los estudiantes puedan justificar sus representaciones, integrando los conocimientos de campo y potencial eléctrico y lo realicen argumentando científicamente. Estas acciones les han demandado un importante nivel de comprensión puesto de manifiesto en la construcción de representaciones cada vez más diferenciadas.

El crecimiento en la conceptualización de los estudiantes que culmina con la autoevaluación de la fase IV, muestra que la propuesta didáctica desarrollada bajo el marco teórico de los campos conceptuales de Vergnaud puede abordarse como una suma de situaciones y es la variedad y la profundidad de las mismas las que colaboran en las conceptualizaciones que de ellas se derivan. Sería de interés avanzar en el análisis de las posibilidades/limitaciones ofrecidas por otros softwares de simulación para su empleo como recurso de enseñanza en relación con otras áreas de Física Eléctrica a fin de favorecer aprendizajes significativos, esto es profundizar la relación entre las posibilidades de visualización ofrecida por los mismos, las situaciones variadas que ofrecen y su influencia en los procesos de conceptualización.

Los conceptos clave de la teoría de los campos conceptuales: esquema, situación, invariante operatorio, dieron sentido a las dificultades observadas en la conceptualización de las actividades de la propuesta y luego del análisis de la indagación evaluativa

Siendo en esta tesis el núcleo del desarrollo cognitivo: la conceptualización del concepto de campo eléctrico, se destaca que es preciso prestar mucha atención a los aspectos conceptuales de los esquemas y al análisis conceptual de las situaciones en las cuales los estudiantes desarrollan sus esquemas en las clases de Física Eléctrica. Un punto a destacar es que se ha presentado para su evaluación en la FRSF-UTN un proyecto de investigación para trabajar los esquemas de los estudiantes, en diversas situaciones problemáticas, puestos en juego en las clases de trabajos prácticos utilizando distintos software de simulación en la disciplina Física..

Es importante rescatar el carácter integrador de la propuesta, que incluye el análisis de texto, la resolución de situaciones problemáticas y cuestiones con la combinación de un trabajo de simulación. Las mismas fueron hilvanadas progresivamente desde las primeras situaciones (fase I y II).

Con la propuesta didáctica implementada tomando en consideración el marco teórico propuesto por Vergnaud, que si bien ha sido trabajado por otros investigadores (Tesis realizadas en la Universidad de Burgos Llancaqueo, 2006; Escudero, 2005; Stipcich, 2004), se puede señalar que todavía es un campo de interpretación y análisis en desarrollo en el área de la educación en Física. Si bien no es el único como lo muestran las investigaciones de Furió y Guisasola (1997, 1998a, 1998b, 2001), considerando aspectos ontológicos y epistemológicos del concepto de campo eléctrico.

Las recomendaciones que se derivan de esta investigación, se elevaron al Área de Orientación Educativa y al Departamento de Materias Básicas mediante sendos informes, en especial con la formación y actualización de los docentes del área. Se logró un compromiso de las autoridades del departamento de Materias Básicas de la FRSF-UTN en esa dirección.

---

Finalmente, considerando que los resultados obtenidos son promisorios, se hace necesario desarrollar otras investigaciones que amplíen la confiabilidad de los resultados expuestos a otros contenidos de Física Eléctrica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, P. A. y KULIKOWICH, J. M. (1994). Learning from physics text: a synthesis of recent research. *Journal of Research in Science Teaching*. 31 (9) pp. 895-911.

ALZUGARAY, G. y MASSA, M. (1998). El enunciado de problemas y la construcción del concepto de campo electromagnético *Actas Cuarto Simposio de Investigadores en Educación en Física. La Plata*

ALZUGARA, G, CAPELARI, M. y CARRERI, R (2006). La potencialidad didáctica de los materiales curriculares: categorías para evaluar la incorporación de software en la enseñanza de las Ciencias Experimentales. *Revista Científica del Instituto Latinoamericano de Investigación (ILIE)*. Revista formato electrónico pp.1850-1974

ALZUGARAY, G, CAPELARI, M., CARRERI, R. (2007) La evaluación de software en la enseñanza de la Física: criterios y perspectivas teóricas. *Revista Científica del Instituto Latinoamericano de Investigación (ILIE)*, 3(11), <http://www.cognición.net>.

ALZUGARAY, G. Y MASSA, M. (2009) Un estudio del aprendizaje del campo eléctrico a nivel universitario. X Conferencia Interamericana de Educación en Física, Medellín -Colombia ISBN 978-958-44-5352-5

ALZUGARAY, G. (2009) Variables que afectan el conocimiento en la comprensión del concepto de campo eléctrico *Memorias del Congreso Educación en Enseñanza de las Ciencias VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias* pp.1929-1932.

ANDER-EGG, E. (1995). *Técnicas de investigación social*. Ed. Lumen.

ANDRÉS, M. A. Y PESA, M. A, MENESES, J. V. (2006) Conceptos-en-acción de estudiantes del Profesorado de Física: Ondas Mecánicas. *Revista de Investigación* (59) pp.221-247

ARAUJO, I. S., VEIT, E. A. y MOREIRA, M. A. (2007) Simulações computacionais na aprendizagem da Lei de Gauss para a eletricidade e da Lei de Ampère em nível de Física Geral. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 6(3)*, pp. 601-629.

ASTOLFI, J. P. 1994. Los obstáculos para el aprendizaje de conceptos en ciencia: La forma de Franquearlos didácticamente. En Merino, G. *Enseñar Ciencias Naturales en el tercer ciclo de la E. G. B.* Madrid/Buenos Aires: Editorial Aique.

---

AUSUBEL, D. P. (1963). The psychology of meaningful verbal learning. New York, Grune and Stratton

AUSUBEL, D. P. (1968). Educational psychology: a cognitive view. New York, Holt, Rinehart and Winston.

AUSUBEL, D. P. (1976). Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo. México, Editorial Trillas. Traducción al español de Roberto Helier D., de la primera edición de *Educational psychology: a cognitive view*.

AUSUBEL, D., NOVAK J., HANESIAN H. (1991). Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo. México, Trillas.

AUSUBEL, D. P. (2002). Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva. Ed. Paidós. Barcelona.

AYUSO, G. E.; BANET, E. (2002). Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*. (20) 1 pp. 133-157.

BACHELARD, G. (1974) *La formación del espíritu científico*. Editores S.A. Siglo XXI Argentina, Editores S.A. Siglo XXI España.

BAGNO, E. & EYLON, B. (1997) From problem solving to a knowledge structure: An example from the domain of electromagnetism *American Journal of Physics* Vol 65, Issue 8, pp. 726-736 .

BARBERÁ, O. y VALDÉS, P (1996) El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias* 14(3) pp.365-379

BARCENA ORBE, F. (1993) "El tratamiento de la incertidumbre en la enseñanza reflexiva. Bases para una teoría del juicio pedagógico". En: *Revista Educación*, Nº300. Madrid. pp. 105-132

BECERRA LABRA, C., GRAS-MARTÍ, A., MARTINEZ TORREGROSA, J. (2005) ¿De verdad se enseña a resolver problemas en el primer curso de física universitaria? La resolución de problemas de "lápiz y papel" en cuestión. *Revista Brasileira de Ensino de Física* vol. 27 nro 2

- BENSHEGIR, A.& CLOSSET, J.L. (1996): "The electrostatics-electrokinetics transition. Historical and educational difficulties" en *International Journal of Science Education* vol. 18 nº 2, pp. 179-191.
- BERKSON, W. (1981). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Madrid: Alianza Editorial.
- BERKSON, W. (1985). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. 2da Edición. Madrid: Alianza Editorial.
- BERKSON, W. (1974). *Field of force. The development of world view from Faraday to Einstein*. Routledge and Kegan Paul Ltd. London
- BORGES, A. T. & GILBERT J. K. (1999), Mental models of electricity, *International of Science Education*, (21), 1, pp. 95-117.
- BROUSSEAU, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- BRUNER, J.S. (1988). *Desarrollo cognitivo y educación*. Selección de textos por Jesús Palacios. Morata.
- BUTELER, L., GANGOSO, Z. (2001). La percepción en la resolución de un problema de física. *Enseñanza de las Ciencias*. Número Extra VI Congreso, pp.297-298.
- BUTELER L., GANGOSO Z. (2002) Diferentes enunciados del mismo problema: ¿problemas diferentes? *Investigações em Ensino de Ciências*. 6 N 3.
- BUTELER, L., GANGOSO, Z. (2003). *Representaciones e investigación empírica: un análisis metodológico para la resolución de problemas en Física*. Exposición mural en la XIII Reunión Nacional de Educación en la Física. Río Cuarto, Córdoba, noviembre de 2003. Universidad Nacional de Río Cuarto y Asociación de profesores de Física de la Argentina. Artículo completo. Publicación de actas en CD.
- BUTELER, L. Y COLEONI, E. (2007) "Una estrategia de enseñanza para la resolución de problemas en Física a partir de lo que los estudiantes sí saben". 92ª Reunión de la Asociación Física Argentina, Salta, Argentina (24 al 28 de setiembre 2007)
- BUTELER, L., COLEONI E, y GANGOSO, Z (2008) ¿Qué información útil arrojan los errores de estudiantes cuando resuelven problemas de física?: Un aporte desde la

---

perspectiva de recursos cognitivos. Revista Electrónica de las Ciencias Vol. 7 No2 pp. 349-365

CAAMAÑO ROSS, A. (1992). "Los trabajos prácticos en ciencias experimentales", en Aula de Innovación Educativa, n.º 9, pp.61-68.

CABALLER, M. J.; OÑORBE, A. (1997) Resolución de problemas y actividades de laboratorio. En Luis del Carmen (Coordinador) *La Enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. ICE/Honsori, Universitat de Barcelona: Barcelona.

CABALLERO, C. y MOREIRA, M. A (2007) Aportaciones de la teoría de Vergnaud para investigar aprendizajes significativos complejos en Física. Actas VEIAS, Monografía VIII, pp.473-487.

CABRAL DA COSTA Y MOREIRA. (1997) Resolução de problemas IV: Estrategias para Resolução de problemas. *Investigações em Ensino de Ciências*. 3(2).

CABRAL DA COSTA S. Y MOREIRA M.A. (2001) "A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa" Cad. Cat. Ens. Física, v.18, n.3, pp. 263-277.

CABRAL DA COSTA, S. (2005) Modelos Mentais e Resolução de Problemas em Física. Tesis realizada bajo la dirección del Dr. Marco Antonio Moreira para la obtención del título de doctor en Ciencias. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CABRERA RODRÍGUEZ, F.A., BORDAS ALSINA M.I. (2003) Estrategias de evaluación de los aprendizajes centradas en el proceso Revista española de pedagogía, ISSN 0034-9461, Vol. 59, Nº 218, 2001, pp. 25-48.

CAMPANARIO, J.M. y OTERO, J. (2000). La comprensión de los libros de texto. En Perales, F.J. y Porlan, R (Eds.) *Didáctica de las ciencias experimentales* .pp. 323-338. Alcoy: Editorial Marfil

CAÑAL, P.y PORLÁN, R. (1987) Investigando la realidad próxima: Un modelo didáctico alternativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(2) pp.89-96.

CARRASCOSA, J. GIL-PÉREZ, D. Y VILCHES, A. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Cad. Bras. Ens. Fis.*, 23, pp.157-181.

CARRASCOSA, J. y GIL, D. 1992; Concepciones alternativas en Mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10, pp. 314-327.

CARRERI, R.; MARINO, L. y ALZUGARAY, G. (2006) Los trabajos prácticos en Física desde la perspectiva de los alumnos: una exploración multidimensional Experiencias docentes en Ingeniería. Desde el ingreso a la práctica profesional supervisada. Vol 1, pp. 305-312 Editores Selva S. Rivera Jorge E. Nuñez McLeod.

CARRERI, R.; MARINO, L. y ALZUGARAY, G. (2007) Integración de contenidos en Ciencias experimentales: aportes para un abordaje interdisciplinar en la formación docente continua. *Memorias REF XV* Merlo San Luis.

CARRERI, R.; MARINO L.; ALZUGARAY, G. (2009) Aportes del laboratorio virtual al aprendizaje del campo y potencial eléctrico. *Memorias XVI Reunión Nacional de Educación en la Física*. San Juan 19-23 octubre .

CAZDEN, C. B. (1991). *El discurso en el aula. El lenguaje de la enseñanza y del aprendizaje*. Ed. Paidós. Barcelona

CEBERIO GARATE, M; GUIASOLA ARANZABAL, J Y ALMUDÍ GARCÍA, J. M. (2005) Revisión de las investigaciones sobre propuestas didácticas en resolución de problemas de física. *Enseñanza de las ciencias*, número extra. VII congreso

CHABAY, R and SHERWOOD, B. (1995) *Electric & Magnetic interactions*, in John Wiley & Sons, Inc. New York.

CHARLES, R. Y LESTER, F. (1986). *Mathematical problem-solving*. Sprinthouse. Learning Institute.

CHALMERS, A. F. (1982). ¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Una valoración de la naturaleza y el estatuto de la ciencia y sus métodos. Siglo XXI. Madrid.

CHI, M.; FELTOVICH, P.J. and GLASER, R. (1981). "Categorization and representation of physics problems by experts and novices". *Cognitive Science*, 5, 121-152.

COLEONI, E., BUTELER, L 2008 Recursos metacognitivos durante la resolución de un problema de Física1. *Investigações em Ensino de Ciências* – V13(3), pp.371-383.

---

COLINVAUX DE DOMINGUEZ (1992) A Formação do conhecimento Físico Um estudo da causalidade em Jean Piaget Universidade Federal Fluminense. EDUFF. Editora Universitária.

CONFEDI (1997). Consejo Federal de decanos de Ingeniería. Informes anuales.

CORONEL, M. y CUROTTO, M.M. (2008) La resolución de problemas como estrategia de enseñanza y aprendizaje. Vol. 7 N°2 *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* (España), <http://www.saum.vigo.es/reec>

De JONG, O. (1996). La investigación activa como herramienta para mejorar la enseñanza de la química. *Enseñanza de las Ciencias*, vol.14(3), pp.279-288.

DENZIN, N.K. AND LINCOLN Y.S., eds., 1994, *Handbook of Qualitative Research*, Thousand Oaks, CA: Sage.

De PRO, A. y EZQUERRA, A. (2005). ¿Qué ciencia ve nuestra sociedad? *Alambique*, 43, 37-48.

De VEGA, M., CARREIRAS, M., GUTIÉRREZ-CALVO & AONSO-QUECUTY, M. L. (1990) *Lectura y comprensión: una perspectiva cognitiva*. Madrid: Alianza

De VEGA, M. (1993) *Introducción a la Psicología Cognitiva*. Madrid: Alianza Editorial.

DISESSA, A. A. (1990). *Social niches for future softawera*. In M. Gadner, J. G. Greeno, Reif, F., Schoenfeld, A. diSessa y E. Stage (Eds) *Toward a scientific practice of science education*, (Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey).

DOMENECH, J. L., GIL-PÉREZ, D., GRAS, A., GUIASOLA, J. MARTÍNEZ-TORREGORSA, J. SALINAS, J. TRUMPER, R., VALDÉS, P. Y VILCHES, A. (2007). Teaching of Energy Issues: A Debate Proposal for a Global Reorientation. *Science & Education*, 16(1), pp. 43-64.

DRIVER, R., GUESNE, E. & TIBERGHIE, A. (1985) Some features of children's ideas and their implications for teaching. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* pp. 193-201. Milton Keynes, UK: Open University Press.

DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), pp.3-15

- DUFRESNE, R.; GERACE, W.J.; HARDIMAN, P.T. and MESTRE, J.P. (1992). Constraining novice to perform expert-like problem analyse: effect on schema acquisition. *Journal of the Learning Science*, 2, pp.307-331.
- DUIT, R, (1999) Conceptual change approaches in science education. En W. Schnotz; S. Vosniadou y M. Carretero (Eds) *New Perspectivas on conceptual change*. pp.263-282. Oxford: Elsevier.
- DUIT, R. (2004). Bibliography: Students' and teachers' conceptions and science education (STCSE), INP Kiel.
- DUMAS, CARRÉ. (1987). Des activités de resolution de problèmes pour l'apprentissage. *Les Sciences de l'Éducation*. 4-5, pp.9-32
- EDWARDS, M., GIL- PÉREZ, D., VILCHES, A. Y PRAIA, J.(2004). La atención a la situación del mundo en la educación científica. *Enseñanza de las Ciencias*. (22) 1, pp. 47-63.
- ESCUDERO, C. y MOREIRA, M. A. (2002): Resolución de problemas de cinemática en nivel medio: estudio de algunas representaciones. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC)*, 2 (3), pp 5-25.
- ESCUDERO C. y JAIME, E (2003) Elementos para la conceptualización de la noción de cuerpo rígido en la resolución de un problema integrativo. *Memorias XIII Reunión de educación en Física (REF XIII)*, Rió cuarto (Córdoba, Argentina).
- ESCUDERO, C., MOREIRA, M. A. y CABALLERO, C. (2003) Teoremas y conceptos-en-acción en clases de Física introductoria en secundaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (España)*, 2(3).
- ESCUDERO, C, y MOREIRA, M. A. (2004): La investigación en resolución de problemas: una visión contemporánea. Texto de Apoio Nº 23 da Universidade de BURGOS/UFRGS, vol. 6, 41-90. En MOREIRA, M. A y CABALLERO, C. (Eds): *Actas del PIDEDEC*. Porto Alegre, UFRGS.
- ESCUDERO, C. (2005): *Inferencias y modelos mentales: un estudio de resolución de problemas acerca de los 1º contenidos de Física abordados en el aula por estudiantes de nivel medio*. Tesis doctoral. Universidad de Burgos (España).

---

EYLON, B. & GANIEL, U. (1990). Macro-Micro Relationships: the Missing Link Between Electrostatics and Electrodynamics in Students Reasoning, *International Journal of Science Education* , vol 12, nº 1, pp.79-94.

FANARO, M. A., OTERO, M. R. y GRECA, I. M. (2005) Las imágenes en los materiales educativos: las ideas de los profesores. *Revista Electrónica de las Ciencias*. Vol 4 N° 2.

FARADAY, M. (1831-1855).(1965). *Experimental researches in electricity* Reprinted in Dover 1965. New York.

FARADAY, M (1831, 1855) (1971) *Experimental researches on electricity*, 3 vol. Royal Society. Londres. Trad.Cast. Investigaciones experimentales de electricidad, serie I a V, los fundamentals. Editorial Universitaria de Buenos Aires.

FAVERO M. H y SOARES GOMES de SOUSA, C. M. (2001). A resolução de problemas em Física: revisão de pesquisa, análise e proposta metodológica. *Investigação em Ensino de Ciências*, 6 (2).

FEYMANN, R.; LEIGHTON, R. y SANDS, M. (1987) Física vol II Electromagnetismo y materia (Fondo Educativo Interamericano, EE:UU).

FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M. (2008) Ciencias para el mundo contemporáneo. Algunas reflexiones didácticas Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien., , 5(2), pp. 185-199

FRANCHI, A. (1999): Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. En Alcântara Machado, S. D. et al. *Educação Matemática: uma introdução*. São Paulo, EDUC, pp.155-195.

FURIÓ MAS, C. J.; ITURBE BARRENETXEA, J.; REYES MARTÍN, J. V. (1994). Contribución de la resolución de problemas como investigación al paradigma constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, nº 24, pp.89-100.

FURIÓ, C. Y GUIASOLA, J. (1997). Deficiencias epistemológicas de la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico. *Enseñanza de las ciencias*, 15(2), pp.259-271.

- FURIO, C. y GUIASOLA, J. (1998). Construcción del concepto de potencial eléctrico mediante el aprendizaje por investigación. *Revista de Enseñanza de la Física* 11 (1) pp.25-37.
- FURIÓ, C., GUIASOLA, J., ZUBIMENDI, J. L 1998. Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales, *Investigações em Ensino de Ciências*, 3 (3).
- FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (1998a) Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. *Enseñanza de las Ciencias*. Vol.16 (1) pp.131-146
- FURIO, C. y GUIASOLA, J. (1998b). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education* 82 (4) pp.511-526.
- FURIO, C. GUIASOLA, J y ZUBIMENDI, J. L. (1998). Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol 3(3).
- FURIÓ C. y GUIASOLA J., (1999) concepciones alternativas de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias* 17(3) pp.441-452.
- FURIÓ C. y GUIASOLA J. (2001), La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación, *Enseñanza de las Ciencias* 19(2) pp.319-334.
- FURIÓ C., GUIASOLA J., ALMUDÍ J. M. y CEBERIO, M. (2003), Learning the electric field concept as oriented research activity. *Science Education*, (5), pp.640-662.
- GALILI I. (1995). Mechanics background influences students' conceptions in electromagnetism. *International Journal of Science Education*, Vol 17, nº3, pp. 371-387.
- GALLEGO, A. (2007). Imagen popular de la ciencia transmitida por los cómics. *Rev. Eureka sobre enseñanza y Divulgación de las ciencias*, 4(1), pp.141-151

---

GANGOSO, Z. (1999a). Resolución de problemas en Física y Aprendizaje significativo (primera parte: revisión de estudios y fundamentos). *Enseñanza de la Física*, Vol. 12 N° 2, pp.5-21.

GANGOSO, Z, (1999b). *Investigaciones en resolución de problemas en ciencias*. Texto de apoyo N.º3, (pp. 83-133). Acta de la I escuela de verano sobre investigación en Enseñanza de las Ciencias, del programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las ciencias. Burgos.

GARCÍA, R. (1977) La explicación en Física. pp.102-117. en Piaget, J. 1977, La explicación en las Ciencias. Ediciones Martinez Roca S.A.)

GARNHAM, A., TRAXLER, M., OAKHILL, J. & GERNSBACHER, M.A. (1996) The locus of implicit causality effects in comprehension. *Journal of Memory and Language*, 35, pp.517-543.

GARRET, R. (1988) Resolución de problemas y creatividad: Implicaciones para el currículum de ciencias. *Enseñanza de las ciencias* 6(3), pp.224-230.

GARRETT, R.M. (1989). El resolver problemas y la creatividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3)

GARRETT, R. M. (1995) Resolver Problemas en la enseñanza de las Ciencias. *Alambique*, 5, pp.6-15

GAULIN, C. (2001) Tendencias actuales de la resolución de problemas. *Revista de matemáticas, matematika aldizkaria, Sigma* nro 19, pp.51-63

GIL-PÉREZ, D. & CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7 (3), 231-236

GIL, PEREZ D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1987). *La resolución de problemas de física*: Vincens Vives: MEC Madrid.

GIL PEREZ D., MARTINEZ-TORREGROSA J. Y SENET F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), pp. 131-146.

GIL, PÉREZ D.; CARRASCOSA, J.; FURIÓ, C.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*: ICE Universitat de Barcelona: Barcelona.

GIL-PÉREZ, D., MARTINEZ-TORREGROSA, J., RAMÍREZ, L., DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. y PESSOA, A. M. (1992). La didáctica de la resolución de problemas en cuestión: elaboración de un modelo alternativo, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 6, pp.73-85.

GIL PÉREZ, D. (1993). Contribución de la historia y filosofía de la ciencia al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), pp.197-212.

GIL-PÉREZ, D. y VALDÉS CASTRO, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), pp.155-164.

GIMENO SACRISTÁN, J (2008) El poder de un tipo de literatura en educación. *Revista Cuadernos de pedagogía*. Barcelona pp. 52-55

GODINO J. D y BATANERO, C (1994) Significado institucional y personal de los objetos matemáticos. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 14 (3): pp.325-355. [Institutional and personal meaning of mathematical objects. *Journal für Mathematik-didaktik*, pp.99-121].

GOFFARD M, 1990, Modes de travail pédagogiques et résolution de problèmes en Physique. Tesis Doctoral. Université de Paris

GOWIN, D.B. (1981). *Educating*. Ithaca, Nueva York: Cornell University Press. Trad. cast., 1985. *Hacia una teoría de la educación*. Argentina: Ediciones Aragón.

GRECA, I. y MOREIRA, M. A. (1996). Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de física general, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. *Investigações em Ensino de Ciências*, Vol. 1(1).

GRECA, I. M<sup>a</sup> y MOREIRA, M. A. (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes: uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 7, nº 1 (2).

GUISASOLA, J. ALMUDÍ, J. M. CEBERIO, M.. ZUBIMENDI, J. L (1998). ¿Contribuye la enseñanza de los problemas tipo al aprendizaje significativo de los conceptos y principios fundamentales de la Física en primer ciclo de Universidad?. In Banet, De

---

Pro (Eds.) en *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, II, pp.140-151 (Editorial DM. Murcia).

GUISASOLA, J.A.; CEBERIO, M.G., ALMUDÍ, J.M.G.; ZUBIMENDI, J.L.H. (2003a) El papel científico de las hipótesis y los razonamientos de los estudiantes universitarios en resolución de problemas de Física. *Investigações em Ensino de Ciências*. V8(3), pp. 211-229.

GUISASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y ZUBIMENDI, J.L. (2003b) Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza, *Enseñanza de las Ciencias* 21(1) 79-94.

GUMPERZ, J.J (1988). *Discourse strategies*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.

GURUSWAMY, CH., SOMERS, M.D. & HUSSEY, R.G., (1997) Student's understanding of the transfer of charge between conductors, *Physics Education* 32 (2), pp.91-96

HALBWACHS, F., 1973, *Histoire de l'explication en physique, L 'explication dans les sciences*, 72-1 19. (Flammarion, Paris).

HARMAN, P.M. (1982). *Energy, Force, and Matter. The Conceptual Development of Nineteenth-Century Physics*. Cambridge: Cambridge University Press. Traducción de P. Campos Gómez (1990): *Energía, fuerza y materia. El desarrollo conceptual de la física del siglo XIX*. Madrid: Alianza.

HENAO B. L. y STIPCICH M. S. (2008) Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 7 N°1 pp. 47-62

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, P (2008). *Metodología de la Investigación* (4º ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

HOLTON, G (1952) *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias Físicas*. Editorial Reverté, s.a Barcelona.

- IBÁÑEZ ORCAJO, M. T. (2003) Aplicación de una metodología de resolución de problemas como una investigación para el desarrollo de un enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad en el currículo de Biología de Educación Secundaria. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- IBÁÑEZ ORCAJO, M. T. y MARTINEZ AZNAR M. (2005). *Solving problems in Genetics II: Conceptual restructuring. International Journal in Science Education*, 27(12), pp. 1495-1519.
- JIMENEZ GOMEZ, E & FERNANDEZ DURAN, E. (1998). Didactic Problems in the Concept of Electric Potential Difference and an Analysis of its Philogenesis, *Science and Education*, 7, pp.129-141
- JIMÉNEZ-LISO, M. R.; SÁNCHEZ, M. A. y DE MANUEL, E. (2002). Química cotidiana para la alfabetización científica: ¿realidad o utopía? *Educación Química*, (13) 4, pp. 259-266.
- JIMÉNEZ-LISO, M. R. y DE MANUEL, E. (2009). El regreso de la química cotidiana: ¿regresión o innovación? *Enseñanza de las Ciencias*, (27), 2, pp.257- 272.
- JIMÉNEZ, M.J. (1992) *Temas transversales. Educación para el consumo*. MEC: Madrid.
- JOHNSON-LAIRD P N.(1983). *Mental Models*.(Cambridge, MA: Harvard University Press).
- JOHNSON- LAIRD, P. N. (1996). Images, Models and Propositional Representations. pp. 90-127. En De Vega, M; Intons-Peterson, M. J.; Johnson- Laird, P. N.; Denis, M. y Marschark, M. *Models of Visuospatial Cognition*. Oxford. University Press. 230 p.
- KINDFIELD, A.C.H. (1994). Understanding a basic biological process: Expert and novice models of meiosis. *Science Education*, 78(3), pp. 255-283.
- KNIGHT, D. (1986). *The age of Science: the scientific world-view in the nineteenth century*. Oxford. Blackwell.
- LANG da SILVEIRA, F., MOREIRA, M.A., Y AXT, R. (1992). Habilidad en preguntas conceptuales y en resolución de problemas de física. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), pp.58-62

---

LANGLOIS F, GREY J. y VIARD J. (1995). Influencia de la formulación del enunciado y del control didáctico sobre la actividad intelectual de los alumnos en la resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), pp.179-191.

LARKIN, J. H. (1980). Teaching problem solving in physics: the psychological laboratory and the practical classroom. Em Tuma. D. F. e Reif. (eds.) *Problem solving and education: issues in teaching and research*. 111-126. Hillsdale, N.J. Lawrence Erlbaum Associates.

LARKIN, J. H. and REIF, F. (1979). Understanding and teaching problem solving in physics. *European journal of Science Education*, 1 (2), pp.191-203

LARKIN, J. H., MCDERMOTT, J., SIMON, D. P. and SIMON, H. A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problem. *Science*, 208, pp.1335-1342.

LAWRENZ F. (1986) En Gabel y Bunce, 1994

LEMKE, J. (2001) Articulating communities: Sociocultural Perspectives on science education, *Journal of Research in Science Teaching*, 24(3), pp.191- 216

LEÓN Y MONTERO (1997). *Diseño de Investigaciones 1997*. 2da Edición Mac Graw Hill.

LEONARD, W., DUFRESNE, R., GERACE, W. and MESTRE, J. (1996). Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. *American Journal of Physics*, 64(12), pp.1495-1503.

LEONARD, W., DUFRESNE, R., GERACE, W. and MESTRE, J. (2000). Minds-on physics. Activities & reader (Vol. 4 AT: Advanced Topics in Mechanics; Vol. 4 FF: Fundamental Forces & Fields); Teacher's Guide to accompany Minds-on physics (Vol. 4 FF: Fundamental Forces & Fields). Dubuque, IA: Kendall/Hunt Publishing Company.

LINDER, C. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*. 77(3), pp.293-300.

LIN, H.S., CHENG, H.J. y LAWRENZ, F. (2000). The Assessment of Students and Teachers' Understanding of Gas Laws. *Journal of Chemical Education*, 77, (2), pp. 235-238.

LLANCAQUEO, A., CABALLERO, M<sup>a</sup> C., MOREIRA, M. A. (2003). El aprendizaje del concepto de campo en física: una investigación exploratoria a luz de teoría de Vergnaud. *Revista Brasileira de ensino de física*, vol.25 no.4.

LLANCAQUEO, A (2006) El aprendizaje del concepto de campo en Física: Conceptualización, progresividad y dominio. Tesis doctoral universidad de Burgos, España.

LLANCAQUEO, A.; CABALLERO, C. y ALONQUEO, P. (2007). Conocimiento previo en física de estudiantes de ingeniería. *Enseñanza de las Ciencias*, 25 (2), pp. 205-216.

LLONCH, E.; SANCHEZ, P.; MASSA, M.; D`AMICO, H. (2001) La comprensión de problemas: una cuestión de modelado situacional en enseñanza de las ciencias. Nro extra VI Congreso Enseñanza de la Ciencias. pp.305-306

LOCK, R. (1990) : Open-ended, problem-solving investigations. *School Science Review*, 71 (256), pp.63-72.

LOMBARDI, G., CABALLERO, C. Y MOREIRA, M. A. (2009) El concepto de representación externa como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico. Universidad Pedagógica Experimental Libertador: Instituto Pedagógico de Caracas

LOPES B. Y COSTA, N. (1996) Modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en la resolución de problemas: fundamentación, presentación e implicaciones educativas. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), pp.45-61

MACÍAS, A., CASTRO, J. y MATURANO, C. (1999) Estudio de algunas variables que afectan la comprensión de textos de física. *Enseñanza de las ciencias*, Vol. 17, no 3, pp. 431-452

MALONE, K. (2007). The convergence of knowledge organization, problem-solving behavior, and metacognition research with the Modeling Method of physics instruction — Part I. *Journal of Physics Teacher Education Online* , 4, 1, pp.14-26.

MALONEY, D. (1994) Research on problem solving: physics. En D. Gabel (Ed.), *Handbook on Research of Science Teaching and Learning*. New York: Mc millan Publishing Company. pp.327-354.

---

MARINO, L.A. CARRERI R.A.. ALZUGARAY G.E. (2007) *Los trabajos prácticos en física desde la perspectiva de los alumnos: un análisis evaluativo*. Memorias IV Congreso Nacional y II Internacional de Investigación Educativa. Cipolletti- Río Negro 18-20 de abril de 2007

MANRIQUE DEL CAMPO, M.J. (1995). Noticias para plantear problemas. *Alambique*, 5, pp.59-65.

MARTINEZ AZNAR, MARIA MERCEDES. (1990): "Perspectivas Sobre Tipos y Resolución de Problemas". Obra-colectiva: Cambio Educativo y Desarrollo Profesional. Congreso: Jornadas de Estudio sobre la Investigación en La Escuela. VII. 1990. Sevilla. pp. 38-44

MARTÍNEZ AZNAR, M. M.; BÁRCENA, A. I.; IBÁÑEZ, M. T. y VARELA, M. P. (2001). "Herencia, Biomasa y energía. Tres campos para investigar resolviendo problemas". VI Congreso Internacional sobre investigaciones en la Didáctica de las Ciencias, pp.133-134.

MARTINEZ AZNAR M. e IBAÑEZ ORCAJO M. T. (2006). Resolver situaciones problemáticas en genética para modificar las actitudes relacionadas con la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), pp.193-206.

MASSA, M. Y MULHALL, W. (1992) El esquema de los tres espacios como base para generar la estructura conceptual de una teoría física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Vol. 9, Nº 3.

MASSA, M., LLONCH, E., SÁNCHEZ, P., DÁMICO, H. (1997) Qué se lee en el enunciado de un problema? *Leonardo Da Vinci Conocimiento y Didáctica de la Ciencia*.

MASSA, M., SÁNCHEZ, P., LLONCH, E., D'AMICO, H. (2000). Modos de comprensión lectora de enunciados de problemas. *Actas del III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa*, 379-382. (Portugal).

MASSA, M., ESCUDERO, C., GARCÍA, M. (2000). "What does a teacher say in a solving problem class? *International Conference on Physics Education*, Barcelona España.

- MASSA M., LLONCH E., SÁNCHEZ P. (2001) El "encuentro" como heurístico de resolución, Publicación en CD, *Memorias de la XII Reunión Nacional de Educación en Física*, Buenos Aires,
- MASSA, M. D'AMICO, H. LLONCH, E. (2004) ¿Al encuentro o en persecución?: influencia de las primeras modelizaciones sobre la interpretación de resultados. *Memorias del VII Simposio de Investigación en Educación en Física*, Santa Rosa, La Pampa
- MASSA, M. LLONCH, E. D'AMICO, H. (2005) La modelización de un problema de "encuentro" desde la perspectiva del estudiante: un estudio de caso, publicación electrónica *Memorias de la XIV REF*, Bariloche,.
- MASSONI ,N.T., MOREIRA, M.A.(2007) O cotidiano da sala de aula de uma disciplina de história e epistemologia da física para futuros professores de física. *Investigações em Ensino de Ciências - V12(1)*, pp.7-54
- MAXWELL, J. C. (1865) Dynamical theory of electromagnetic field. *Philosophical transactions*, Reprinted in *The scientific papers of James C. Maxwell*. Cambridge (1980).
- MAC MILLAN C., SWADENER, M. (1991). Novice Use of Qualitative Versus Quantitative Problem Solving in Electrostatics, *Journal of Research in Science Teaching*28,(8), pp.661-670
- McDERMOTT, L.C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, 37 (7), pp.24-32.
- McDERMOTT L.C. (1993) Guest comment: How we teach and how students learn: A mismatch *American Journal of Physic.* 61, pp.295-298.
- McDERMOTT L.C., SHAFFER P.S. (2001),*Tutoriales para Física Introductoria*. Prentice Hall.
- MEMBIELA, P. (Ed.) (2001). *Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva CTS*. Madrid: Narcea.
- MERINO, J.M. y HERRERO F. (2007) Resolución de problemas experimentales de Química: una alternativa a las prácticas tradicionales *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 6, Nº3*, pp. 630-648

---

MIGUENS, M. y GARRETT, R. M. (1991) Prácticas en la enseñanza de las ciencias. Problemas y posibilidades. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, pp. 229-236.

MILLAR, R. (1991). A means to an end: The role of processes in science education, en *Practica1 science. The role and reality of practical work in school science*, editado por Brian E. Woolnough. Milton Keynes: Open University Press.

MOREIRA M.A. (1990), Pesquisa em Ensino – Aspectos metodologicos e referenciais teoricos, De. Ped. Univ. , Sao Paulo, Brasil.

MOREIRA, M.A. (1994). Cambio conceptual: crítica a modelos actuales y una propuesta a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. Proceeding of the Intenational Conference “Science and19-Moreira, Moreira M.A., 1997. “Aprendizagem significativa: um conceito subjacente” *Actas Encuentro Internacional sobre aprendizaje significativo*. Universidad de Burgos España.

MOREIRA, M.A. (1997). Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. *Actas Encuentro Internacional sobre aprendizaje significativo*. Universidad de Burgos España.

MOREIRA, M.A. (1998) la investigación en educación en ciencias y la transformación permanente del profesor de ciencias, Conferencia presentada en *Congreso Iberoamericano de educación en Ciencias Experimentales*, La Serena, Chile.

MOREIRA, M.A. (2000a). Aprendizaje Significativo: teoría y práctica. Ed. Visor. Madrid.

MOREIRA, M.A (2000b). Aprendizaje Significativo crítico. Atas do III Encontro Internacional Aprendizagem Significativa. Peniche. Portugal, pp. 33-45. (traducción Ileana Greca).

MOREIRA, M.A (2000c) Modelos Mentales Texto de Apoyo N° 8. Actas I Escuela de Verano sobre Investigación en Enseñanza de las Ciencias del Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias.Universidad de Burgos.

MOREIRA, M.A. (2002a) Investigación en Educación en Ciencias: Métodos cualitativos. Texto de Apoido do Programa Internacional de Doutorado em Ensino de Ciencias da Universidade de Burgos/UFRGS.

- MOREIRA, M.A. (2002b) A Teoría dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de Ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(1), pp.1-24.
- MOREIRA, M.A. y GRECA, I. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência & Educação*, 9 (2), pp.301-315.
- MOREIRA, M. A. (2004) Organizador. La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, La Enseñanza de las Ciencias y La Investigación en el área. Instituto de Física Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Textos de apoyo.
- MORTIMER, E. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science and Education*. 4. pp.267-285.
- MORTIMER, F. (1996). *Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos?* Investigações em Ensino de Ciências – V1(1), pp.20-39.
- NOVAK, J. (1986). *Teoría y Práctica de la educación*. Alianza Universidad, Madrid.
- NOVAK, J.D., 1988. Constructivismo Humano: Un Consenso Emergente, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol.6(3), pp.213-223
- NOVAK, J. (1990). Concept Mapping: A useful device for science education. *Journal Reshearch Science Teaching*.
- NOVAK, J. D y GOWIN, D. B. (1996). *Aprender a aprender* . Lisboa: Plátano Edicoes Técnicas. Trad. De Carla Valadares.
- OLIVA, J.M. y MATOS, J. (1999). La ciencia recreativa como recurso para la enseñanza de las ciencias y el desarrollo profesional docente. *Perspectiva CEP*, 1, 89-102.
- OÑORBE, A. y SÁNCHEZ, J.M. (1996). Dificultades de la enseñanza-aprendizaje de los problemas de física y química. II. Opiniones del profesor. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), pp. 251-260.
- PAGE, C. (1977). Electromotive Force, Potential Difference, and Voltage, *American Journal of Physics*, 45, (10), pp.978 – 980
- PEDRINACCI, E. (Coord.) (2006). Ciencias para el mundo contemporáneo. *Alambique*,49.

---

PEDUZZI, L., MOREIRA, M.A., ZILBERSTAJN. (1992). As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa sequência de conteúdos em mecânica o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários á abordagem histórica da relação força e movimento. *Revista Brasileira de ensino de Física*. 14(4), pp.239-246

PENAGOS, A. & PALACINO, F. (2004). La resolución de problemas como estrategia para el desarrollo de competencias comunicativas en estudiantes de V semestre de licenciatura en biología. Proyecto de grado para optar al Título de Licenciados en Biología, Departamento de Biología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.

PERALES PALACIOS F. (1993). La resolución de problemas una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), pp.170-178.

PERALES, F. y CAÑAL, P. (2000): *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Editorial Marfil, España.

PERALES, F. J. Y JIMÉNEZ, J. de D. (2002) Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Revista Enseñanza de las Ciencias*. 20(3), pp.369-386.

PERE MARQUÉS GRAELLS, (2001) *Plantilla para la catalogación multimedia*, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.

POCOVI, M.C. & FINLEY, F. N. (2003). Historical evolution of the field view and textbook accounts. *Science & Education*, 12(4), pp.387-396.

POCOVÍ, M. C. Y HOYOS, E. (2004) Estudio de caso de la comprensión de diferencia de potencial y fem en alumnos avanzados y graduados en física *Investigações em Ensino de Ciências – Vol.9(3)*, pp.337-348.

POLYA, G. (1945). *How to solve it- a new aspect of mathematical meted*. (2<sup>nd</sup>. Ed.) New Jersey. Princetown University Press.

PORLÁN, R. (1998). *Constructivismo y escuela*. Serie fundamentos No 4 Colección Investigación y enseñanza.

PORLÁN, R., RIVERO, A. (1998). *El conocimiento de los profesores* Serie Fundamentos N° 9 Investigación y enseñanza. Diada Editora

- POZO, J., POSTIGO, y GÓMEZ CRESPO, M. A. (1995). *Aprendizaje de estrategias para la solución de problemas de ciencia*. Alambique, 14, pp.49-69
- POZO, J. I, GÓMEZ CRESPO, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Morata, Madrid.
- POZO, J. I. (2002) La adquisición del conocimiento científico como un proceso de cambio representacional. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (3) pp.1-30.
- RAISOSN, S., TRANSTROMER, G., & VIENNOT L. (1994). Student's understanding of superposition of electric fields. *American Journal of Physics* 62(11), pp.1026-1032.
- RAISOSN, S. (1995) Superposition des champs électriques et causalité: étude de raisonnements, élaboration et évaluation d'une intervention pédagogique en classe de mathématiques spéciales technologiques. Tesis París: Université Paris 7.
- RAMIREZ CASTRO, GIL PEREZ y TORREGROSA. (1994). *La resolución de problemas de Física y de Química como investigación*. Centro de publicaciones del Ministerio de educación y Ciencia de España: CIDE.
- REIF F. (1979) Understanding and Teaching Problem solving in Physics. *Atelier International dété: Recherche en didactique de la Physique*. La Londe les Maures, (CNRS: París), pp.3-13.
- REIF, F. E HÉLLER, J.I. (1981) .Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17, pp.102-107.
- REIF, F. (1983). Teaching problem-solving. A scientific approach. *The Physics Teacher*, May, pp.477-478.
- RIBEIRO AMARAL, E. y MORTIMER, E. F. (2004) Un perfil conceptual para entropía y espontaneidad: una caracterización de las formas de pensar y hablar el aula de Química. *Educación química*, 15(3).
- RODRIGO, M.J. (1994). Del escenario sociocultural al constructivismo episódico: un viaje al conocimiento escolar de la mano de las teorías implícitas. II Seminario sobre Constructivismo y Educación. Puerto de la Cruz, Universidad de La Laguna.
- RODRÍGUEZ GÓMEZ, G., GIL FLORES, J. y GARCÍA JIMÉNEZ, E. (1996) Metodología de la investigación cualitativa. Málaga, Aljibe.

---

RODRÍGUEZ, PALMERO, M. L., MARRERO ACOSTA, J. Y MOREIRA, M. A. (2001). La teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird y sus principios: una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del Curso de Orientación Universitaria. *Investigações em Ensino de Ciências*.

RODRÍGUEZ PALMERO M.L. Y MOREIRA, M.A. (2002) La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área. *Investigacoes em Ensino de Ciências*. 7(1) Art 1.

RODRÍGUEZ PALMERO, M.L. (2003a). Aprendizaje significativo e interacción personal. Ponencia presentada en el IV Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo, Maragogi, AL, Brasil, 8 a 12 de septiembre.

RODRÍGUEZ PALMERO, M.L. (2003b). Modelos mentales de célula: una aproximación a su tipificación con estudiantes de COU. Servicio de Publicaciones. Universidad de La Laguna.

RODRIGUEZ PALMERO, M.L. (2004) La Teoría del Aprendizaje significativo proa. Of the first Int. Conference on concept mapping. Pamplona, Spain.

RODRÍGUEZ, PALMERO, M. L; MOREIRA M.A. (2004) La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, La enseñanza de lãs Ciências y La investigación en el área. Marco Antonio Moreira Organizador. Instituto de Física Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.

RODRÍGUEZ, J.F.; MORENO, T.; ELORTEGUI, N. Y FERNÁNDEZ, J. (1996). "Las relaciones de poder en el aula". *Investigación en la Escuela*: nº 34, pp.103-107.

ROSA, P.R.S., MOREIRA, M.A. y BUCHWEIZ, B. (1992). Alunos bons solucionadores de problemas: caracterizacao a partir de um questionário para análise de entrevistas. *Revista Brasileira de física*, 14 (2).pp.94-100.

SÁNCHEZ, I, y FLORES, P (2004). Influencia de una metodología activa en el proceso de enseñar y aprender Física. *Journal of Science Education*, Año 5, V.2. pp.77-83. Bogota.

SÁNCHEZ, I, y RAMIS, F. (2004). Aprendizaje significativo en base a problemas. *Revista Enfoques Educativos*, pp.101-111. Chillan, Chile.

SÁNCHEZ, I., MOREIRA, M. Y CABALLERO, C. (2005). Aprendizaje significativo a

- través de resolución de problema en cinemática y dinámica. *Enseñanza de las ciencias*. Numero Extra, pp.1-10. Barcelona España.
- SANCHEZ GIMENEZ, J. M. (1995) Comprender el enunciado. Primera dificultad en la resolución de problemas. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Nro. 5, pp.37-45.
- SANCHEZ, N., ESCUDERO, C., MASSA, M. (2001). Modelos de situaciones problemáticas propuestos en los textos escolares de biología. *Enseñanza de las Ciencias*. Número Extra VI Congreso, pp.307-308.
- SÁNCHEZ, P., MASSA, M.y ROSOLIO, A (2007) A problem with different solutions: A study of university student` modeling and reasoning GIREP-EPEC 2007 Conference: Frontiers of Physics Education.
- SÁNCHEZ, I. y FLORES, P (2004). Influencia de una metodología activa en el proceso de enseñar y aprender Física. *Journal of Science Education*, V..5 N° 2, pp. 77-83.
- SÁNCHEZ, I. (2007). Aprendizaje Significativo a través de resolución de problema integradores y contextualizado por investigación (ASARPIC). *Panorama Científico: Conicyt*, V. 21.
- SANCHEZ, I. (2009). Influencia de la resolución de problemas por investigación; en el pensamiento crítico, estrategias y calidad del aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp.3503-3507.
- SCANCICH, M., YANITELLI, M., MASSA, M. (2008) De los problemas de lápiz y papel a las situaciones experimentales: obstáculos que se pueden presentar durante su resolución. *Memorias Noveno Simposio de Investigación en Educación en Física – SIEF 9 Rosario, Argentina, 29 a 31 de octubre de 2008*.
- SCANCICH DIRIENZO, M. (1); YANITELLI RUIZ, M. (2) y MASSA POZZI, M. (3) (2009) Acerca de la efectividad de una práctica de laboratorio VIII CONGRESO INTERNACIONAL DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS BARCELONA, pp.213-217.
- SARAIVA-NEVES; M; CABALLERO, C., MOREIRA, M.A. (2006) Repensando o papel do trabalho experimental, na aprendizagem da física, em sala de aula – um estudo

---

Exploratório Investigações em Ensino de Ciências – V11(3), pp.383-401.

SEROGLOU, F., PANAGIOTIS, K. and VASSILIS, T., 1998. History of Science and instructional desing: the case of electromagnetism. *Science and Education*,7, pp.261-280.

SHUGAILIN A. V. (1962) *Cuestiones filosóficas de la Física Moderna* M. Faraday Selección de trabajos sobre electricidad. Ediciones Pueblos Unidos.

SIEGEL, S. (1983). *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta*. Trillas México 8ta.

SIERRA, FERNÁNDEZ, j. L. y PERALES PALACIOS, F. J. (2000) *La simulación por ordenador en el aprendizaje por investigación de la física en bachillerato* (Libro 203, Cap. 5) Vigo: Educación Editora Uvigo.

SIMON, D.P. E SIMON, H.A. (1978). *Individual differences in solving physics problems. Em R.D. Siegler (Ed.). children´s thinking what develops?.* Hillsdate. N.J. Lawrence Erlbaum Associates.

SIMON, H. A. (1992). *La teoría del procesamiento de la información sobre la resolución de problemas*. En Carretero, M y García Madruga, J.A. compiladores.

SNYDER, P.J. (2000). Evolutionary bases for cerebral localization of higher cognitive functions. *Brain Lang* 73, pp.127-131.

SPSS para windows. (2001). *Análisis estadístico* Osborne Mac Graw-Hill.

SOLANO, F.; GIL, J., PÉREZ, A.L. y SUERO, M.I. (2002) Persistencia de Preconcepciones sobre los Circuitos Eléctricos de Corriente Continua Revista Brasileira de Ensino de Física ISSN 1806-1117 Revista. Brasileira de. Ensino de Física. vol.24 no.4, pp.460-470.

SODERBERG, P. (2003) An examination of problem based teaching and learning in population genetics and evolution using Evolve a computer simulation. *EUA, International Journal of Science Education*, V 25, pp.35-55.

SOLAZ-PORTOLÉS, J.J & SANJOSÉ, V. (2007). Representations in problem solving in science: Directions for practice. *Asia-Pacific-Forum on Science Learning and Teaching* , 8, 2, Article 4.

SOUSA, C. M. S. G. Y FÁVERO, M. H. (2002) Análise de uma situação de resolução de problemas de física, em situação de interlocução entre um especialista e um novato, à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. *Investigações em Ensino de Ciências*, V7(1), pp.55-75.

STEWART, J y HAFNER, R. (1994). *Research on Problem Solving: Genetics*. Handbook of Research in Science Teaching and Learning. Gabel, Dorothy (Ed.) Mac Millan Publishing Company.

STIPCICH, S. (2004) Significados del concepto de interacción gravitatoria en estudiantes de nivel polimodal y puesta en práctica de una propuesta didáctica respecto a dicho concepto. Tesis doctoral Universidad de Burgos España.

STIPCICH, S ; ISLAS, S; DOMINGUEZ, A.(2006) El lugar de la argumentación en la formación de profesores de ciencias. *Revista Chilena de Educación Científica*. Vol 6, No 1, pp. 67-74.

STIPCICH, S; MOREIRA, M A & CABALLERO, C. (2007) The Construction of Notions on Complex Subjects, in Students of Secondary Education: An Analysis by Means of the Theory of the Conceptual Fields. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 9 (1). <http://redie.uabc.mx/vol9no1/contents-Stipicich.html>.

STIPCICH, S; MOREIRA, M A y CABALLERO, C. (2007) Invariantes operacionales y principio de conciencia semántica INDIVISA. *Actas VEIAS, Monografía VIII*, pp. 441-452.

STIPCICH, S. (2008) Las argumentaciones de estudiantes de polimodal sobre la interacción eléctrica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, V 25(3), pp. 397-423.

TACONES, R.; FERGUSON-HESSLER, M. G. M, BROEKKAMP, H. (2001). Teaching science problem solving: an overview of experimental work. *J. Res. Sci. Teach*, 38(4),pp.442-468.

TANKERSLEY, L. & MOSCA, E. (2003). Introducing Faraday's Law. Physics Department de la USNA.

TÁRRAGA, P.; BECHTOLD, H.; PRO, A. (2007) El uso de las prácticas de laboratorio en Física y Química en dos contextos educativos diferentes: Alemania y España". En *Educatio Siglo XXI*. Universidad de Murcia, Murcia, n. 25, pp.145-166.

---

TAYLOR, S. J Y BOGDAN, R. (1986) Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados. Buenos Aires: Editorial Paidós.

THUILLIER, P. (1989). De la filosofía al electromagnetismo: el caso de Oersted. *Mundo Científico*, 10. p.102.

TÖRNKVIST, PATTERSSON & TRANSTRÖMER (1993). Confusion by representation: On student's comprehension of the electric field concept. *American Journal of Physics*. 61(4), pp.335-338.

TURLEY, M. (1994). A model of potential difference in a simple electric circuit. *Australian Science Teacher Journal*, 40, pp.60-61.

VAN HEUVELEN, A.(1991). Learning to think like a physicist: a review of research-based instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59 (10), pp.891-897.

VARELA, F. (2001) La educación de valores en el contexto universitario. La Habana.

VARNEY, R. & FISHER, L. (1980). Electromotive Force: Volta's Forgotten Concept. *American Journal of Physics*, 48 (5), pp.405-408.

VASCONCELOS, C.; LOPES, B.; MARQUES, L.; COSTA, N.; CHAVES, R.; SILVA, D. & CUNHA, A. (2004). Resolución de problemas en educación en ciencias: indicadores sobre el estado del arte. In *Actas del XIII Simposio sobre Enseñanza de la Geología* pp.307-313. Alicante: Universidad de Alicante.

VASCONCELOS, C., LOPES, B., COSTA, N., MARQUES, L. E CARRASQUINHO (2007) S.Estado da arte na resolução de problemas em Educação em Ciência *Revista Eletrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 6, pp.235-245.

VELAZCO, S. y SALINAS, J. (1999). Dificultades de estudiantes universitarios en la comprensión de la noción de potencial eléctrico, *Actas de REF XI*, pp.240-245.

VELAZCO, S, SALINAS, J. (2001) Comprensión de los Conceptos de Campo, Energía y Potencial Eléctricos y Magnéticos en Estudiantes Universitarios. *Revista Brasileira de Física*, vol 23, nº. 3, pp.208-318.

VERGNAUD G.(1983). Multiplicative structures. In Lesh, R. and Landau, M. (Eds.) *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes*. New York: Academic Press Inc. pp.127-174.

- VERGNAUD G., 1990. La Teoría de los campos Conceptuales. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol10 (2,3) pp.133-170
- VERGNAUD, G. (1993). Teoria dos campos conceituais. In Nasser, L. (Ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*. pp.1-26.
- VERGNAUD, G. (1994) Multiplicative conceptual field: what and why?. In Guershon, H. And Confrey, J. (Eds.) *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. Albany, N.Y.: State university of New York Press. Pp.41-59.
- VERGNAUD, G. (1996a). Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*, 55(2/3), pp.112-118.
- VERGNAUD, G. (1996b). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, Nº 4pp. 9-19.
- VERGNAUD, G. (1996c). Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, 26(10), pp.195-207.
- VERGNAUD, G. (2007) ¿En qué sentido la teoría de los campos Conceptuales puede ayudarnos para facilitar aprendizaje significativo? *Investigações em Ensino de Ciências*.Vol12(2), pp.285-302.
- VIENNOT, L. & RAINSON S. (1992). Students' reasoning about the superposition of electric fields. *International Journal of Science Education* , 14(4), pp.475-487.
- VIENNOT L. (1996). *Raisonnement en physique* , De Boeck Université, París. Traducción al castellano en A. Machado libros (2002) `Razonar en Física, la contribución del
- VILLARREAL HERNÁNDEZ, M.E., SALCEDO TORRES, L.E., ZAPATA CASTAÑEDA, P.N., COLMENARES, E., MORENO, S.P. Y RIVERA RODRÍGUEZ, J.C. (2005) Incorporación de NTIC en prácticas de laboratorio de química desde la enseñanza y aprendizaje por investigación *ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS*, 2005. NÚMERO EXTRA. VII CONGRESO, pp.1-5.
- VYGOSTKY, L (1984) Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar. *Infancia y aprendizaje*.
- WATTS, M. (1994). Describing problem solving: a core skill in the curriculum, in M. Watts (ed.), *Problem solving in Science and Technology; extending Good Classroom*

---

*Practice*, chap. 1, David Fulton, London.

WERTSCH, J. (1993) *Voces de la mente. Un enfoque sociocultural para el estudio de la acción mediada*. España: Visor.

WANDERSEE, J.H.; MINTZES, J. J. & NOVAK, J. D. (1994) Research on alternative conceptions in Science, *Handbook of research on science teaching and learning* (MacMillan Publishing Company. New York).

YANITELLI; M ; ROSOLIO, A; MASSA, M. (2007) Un sistema informático para adquirir y procesar datos experimentales: de "caja negra" a instrumento de medida (4-59), ISBN: 978 - 987- 24009-0-3. REF XV Reunión Nacional de Educación en la Física 29 de noviembre al 2 de octubre de

YANITELLI, M., MASSA, M. Y MOREIRA, M. A. (2009) Representaciones sobre la función y uso de un sistema informático en las prácticas de laboratorio de física.

Memorias Conferencia Interamericana de Educación en Física. ISBN 978-958-44-5352-5

ZUBENDI, J. L. Y CEBERIO, M. (2005) Los procesos de carga eléctrica de cuerpos como instrumento de evaluación en el aprendizaje de la electricidad en estudiantes secundarios. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra. VII Congreso 1-5.

## ANEXO I

### Experiencias de laboratorio correspondiente al trabajo práctico de electrostática

#### Física Eléctrica

#### Trabajo Práctico: ELECTROSTÁTICA

**Objetivos:** Introducir algunos conceptos e ideas básicas que explican los fenómenos eléctricos

#### Experiencia 1: TIPOS DE CARGAS

Partiendo de la definición de carga positiva como la que adquiere el vidrio frotado con un paño de lana, realizar las siguientes experiencias:

- a) Frotar una barra de vidrio.
- b) Tocar con la misma un péndulo previamente descargado.
- c) Acercar la misma barra nuevamente frotada al péndulo.
- d) Acercar las otras barras de distintos materiales previamente frotadas al péndulo del punto b).
- e) Observar, describir e interpretar lo que ocurre en cada ítem.

#### Experiencia 2: DISTANCIA RELATIVA e INTERACCIÓN

- a) Cargar un péndulo.
- b) Aproximar al mismo una barra cargada, observar lo que sucede a distintas distancias de aproximación, interpretar y sacar conclusiones.

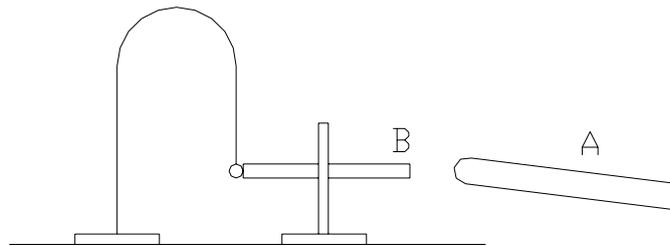
#### Experiencia 3: DIRECCIÓN DE LA INTERACCIÓN

- a) Cargar un péndulo.
- b) Aproximar al mismo una barra cargada
- c) Manteniendo la barra cargada a una misma distancia del péndulo, variar la posición relativa (mover a distintas posiciones en el plano horizontal)
- d) Observar, interpretar y sacar conclusiones de lo que ocurre en c).
  - Describir el fenómeno de interacción eléctrica en función de las variables involucradas en las experiencias anteriores
  - Proponer una experiencia en donde se compruebe el principio de superposición de las Fuerzas Eléctricas.
  - Comprobar experimentalmente la propuesta.
  - ¿Qué analogías existen entre las fuerzas eléctricas y las gravitacionales?
  - ¿Cuáles son las diferencias más significativas?

---

**Experiencia 4:** PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DESDE EL PUNTO DE VISTA ELÉCTRICO

- a) Cargar eléctricamente una barra A, tocar con ésta una barra metálica aislada B en contacto con un péndulo electrostático según el siguiente esquema:

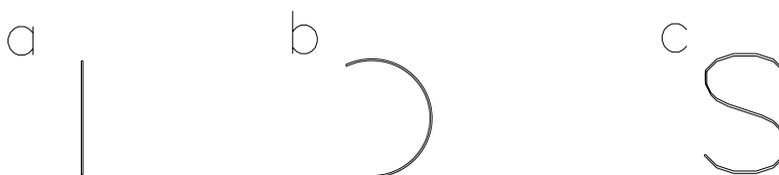


- b) Reemplazar la barra metálica B, por una barra de acrílico o madera. Repetir la experiencia a)
- c) Observar, sacar conclusiones y clasificar los distintos materiales según su comportamiento.

¿Que es un conductor eléctrico?

**Experiencia 5:** DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN UN CONDUCTOR

Cargar eléctricamente una plancha metálica a la cual se le han adosado cintas de papel según las siguientes configuraciones:



A partir de lo observado sacar conclusiones.

**Experiencia 6:** CAMPO ELÉCTRICO

Cargar una placa metálica aislada y acercar a la misma un péndulo electrostático cargado en distintas posiciones. Explicar lo observado.

**Experiencia 7:**

**(I) ELECTRIFICACIÓN**

Frotar con un paño de lana barras de vidrio, PVC, madera y metal. Acercar estas barras a pequeños trozos de papel y al pelo inmediatamente después de ser frotadas.

Observar lo que ocurre .

Dar una explicación de lo que pasa cuando una persona recibe una descarga eléctrica al tocar la puerta de un automóvil después que éste se detiene.

### **(II) INDUCCIÓN ELECTROSTÁTICA, CARGAS INDUCIDAS**

- a) Observar y explicar lo que ocurre cuando se acerca una barra aislante cargada a un péndulo electrostático descargado.
- b) Sostener una barra cargada cerca de un conductor aislado. Manteniendo la barra en la misma posición tocar el conductor con la mano, retirar la mano y luego retirar la barra. Cargar un péndulo electrostático con la misma barra y acercarlo al conductor.

Describir y explicar lo observado en los distintos pasos de esta experiencia.

Si se dispone de dos conductores aislados, encontrar la forma de proporcionarles cargas iguales y opuestas usando la propiedad de la inducción electrostática. Verificar experimentalmente la propuesta.

¿Se puede cargar por inducción un material aislante del mismo modo que un conductor?. Fundamente la respuesta.

- c) Cargar un electroscopio por contacto y por inducción haciendo uso de una barra cargada. ¿Con carga de qué signo respecto de la barra quedara cargado el electroscopio en cada caso.
- d) Observar qué ocurre en un electroscopio cargado cuando se acerca al mismo una barra cargada con signo opuesto y otra con el mismo signo.

### **Experiencia 8: CARGAS EN CONDUCTORES HUECOS**

- a) Cargar el conductor esférico hueco tocándolo con una barra cargada en el interior y en el exterior del mismo.
- b) Tocar la parte interna del conductor con una esferita metálica aislada y tocar luego con la misma un electroscopio descargado (evitar tocar el borde del conductor al introducir o sacar la esferita). Hacer esto repetidas veces.
- c) Repetir lo indicado en el punto anterior pero tocando la parte externa del conductor.
- d) Describir y sacar conclusiones de lo observado en el electroscopio en los puntos b) y c).

### **Experiencia 9: ELECTROSCOPIO**

El electroscopio es un instrumento que se utiliza para detectar la presencia de cargas eléctricas. Su versión más simple es el electroscopio de panes de oro.

- a) Cargar el electroscopio de panes de oro y explicar lo observado.

- 
- b) Tocar el electroscopio cargado con una esfera metálica aislada y descargada, cargar el nuevamente y hacer lo mismo con una barra metálica aislada y descargada. Observar cómo varía la separación de los panes de oro en cada caso y explicar las diferencias.
  - c) Cargar nuevamente el electroscopio y tocarlo con la mano. Explicar lo que ocurre.
  - d) Tocar el electroscopio cargado con trozos de madera. Sacar conclusiones de lo observado.

### **Experiencia 10: PANTALLA ELECTROSTÁTICA**

Se tiene una jaula de tela metálica totalmente cerrada, en su interior se coloca un electroscopio cargado. Observar lo que sucede con el electroscopio si se le acercan a la jaula distintas barras cargadas o si se carga eléctricamente la misma.

¿Esta jaula metálica, llamada jaula de Faraday, pone de manifiesto alguna propiedad importante referida al campo eléctrico y a los medios conductores?

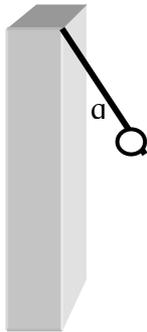
## ANEXO II

### Enunciados de problemas de examen

#### Enunciado 1

Explique y explicita la ley de Gauss para distribuciones discretas y continuas de cargas (teórico)

Una placa conductora muy grande con una densidad de carga  $\sigma = 2 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}^2$  genera un campo E. Si colocamos una carga pequeña (q) de  $3 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  cuya masa es 5 g que cuelga de un hilo de 20cm de largo según muestra la figura



- realizar un diagrama de cuerpo libre de la carga explicando que le sucede si el hilo que la sostiene se corta
- Determinar el valor y magnitud del campo eléctrico en la posición donde se halla la carga, en el interior de la placa y sobre la placa
- Calcular la diferencia de potencial entre la carga y la placa.

#### Enunciado 2

Explique y defina diferencia de potencial y capacidad eléctrica (teórico)

Una esfera conductora hueca de 20cm de radio y 1cm de espesor inicialmente descargada se le coloca en su interior otra de 5cm de radio detectándose una diferencia de potencial entre ambos de 5000 V. Calcule:

- la carga de la esfera interior y el potencial de la esfera exterior.
- Las expresiones del campo eléctrico desde  $r = 0$  hasta el infinito.

#### Enunciado 3

Una esfera conductora de radio  $R_1 = 10 \text{ cm}$  y carga nula, tiene una cavidad esférica concéntrica de radio  $R_2 = 3 \text{ cm}$ . En el centro de la cavidad se halla una carga  $Q = 10^{-8} \text{ C}$ . Se pide:

- Realizar un diagrama de la situación planteada y encontrar la carga sobre la superficie interna y externa del conductor, justificando la respuesta.

- 
- b- Calcular el campo y el potencial eléctrico en la cavidad, en la esfera y en el exterior de la misma explicitando las hipótesis que realiza para el cálculo. (indique la dirección y sentido del campo en cada región)
  - c- Graficar el campo y el potencial en función de la distancia al centro de la esfera.

#### **Enunciado 4**

Un capacitor esférico (sin dieléctrico) está formado por una esfera metálica interior de 5,00 cm de radio y una esfera hueca de 7,00 cm de radio interior y 8 cm de radio exterior. El mismo es cargado con una diferencia de potencial de 1,00 V con el conductor interior positivo.

- a. Explique que es un capacitor.
- b. Deduzca la expresión analítica en función de los radios y el valor particular de la capacidad del dispositivo para la forma y dimensiones indicadas.
- c. Calcule el valor máximo que tiene el campo eléctrico dentro del condensador, indicando donde se tiene ese valor. Compare el mismo con el valor de ruptura
- d. dieléctrica del aire (estimada en 1000 V/mm) y explique que puede concluir de este análisis.
- e. ¿Cómo respondería la pregunta b) si entre los conductores existiera un dieléctrico de constante  $K = 4$ ? ¿Por qué el dieléctrico aumenta la capacidad del capacitor?

#### **Enunciado 5**

Una placa conductora cuadrada de  $Q = 20\mu\text{C}$  uniformemente distribuída y de lado 2m produce un campo E, calcular:

- a. demostrar cual será el valor en magnitud y dirección de la de la intensidad del campo eléctrico en un punto P alejado 2 cm del centro del plano. Qué hipótesis plantea para su solución
- b. Si se coloca en el punto P un electrón, realizar el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre el mismo y explicar que tipo de movimiento realiza.

- c. Calcular el potencial en el punto P si la placa se encuentra a un potencial de 100V

Se coloca luego una carga  $q$  pequeña cercana a la placa conductora (suponga que es posible que la carga aparezca de repente en ese lugar) ¿ Las fuerzas que se ejercen, aparecen en el mismo instante en que se ha colocado  $q$ , o después de un breve tiempo?. Explicar su respuesta.

### Enunciado 6

Dos pequeñas esferas cargadas, ambas con  $10^{-15}$  C, están fijas en los puntos cuyas coordenadas cartesianas son  $(1,0,0)$  y  $(-1,0,0)$ . Las distancias están en metros.

- Hallar la expresión de la función potencial creada por dichas cargas en el eje Y, construyendo su gráfica aproximada. Explicar los conceptos o leyes que se utilizan y las hipótesis que realiza.
- Se libera un electrón sin velocidad inicial en el punto  $(0,1,0)$ . Analizar en forma cualitativa el movimiento que puede tener y calcular su velocidad en el punto  $(0,0,0)$ .
- Hallar la expresión del campo eléctrico creado por las dos cargas puntuales a lo largo del eje Y. Indique una manera alternativa de cálculo de campo.

### Enunciado 7

Una distribución uniforme de carga posee forma de anillo plano con radio interior  $R_i = 2\text{cm}$  y radio exterior  $R_e = 4\text{ cm}$  y espesor despreciable. El eje Z es perpendicular al plano del anillo y el origen de eje Z es coincidente con el centro del mismo. La densidad de carga es uniforme y su valor  $\sigma = 5 \times 10^{-11}$  C/ m<sup>2</sup>.

- hallar la expresión del potencial eléctrico sobre el eje Z y hacer un gráfico cualitativo de  $V(z)$  elija como referencia  $V(z \rightarrow \infty) = 0$
- Es posible elegir como referencia para  $V(z=0) = 0$  , y en tal caso como se modificaría la respuesta a la pregunta anterior? Fundamente su razonamiento.

Un electrón  $q = - 1,6 \times 10^{-19}$  C es lanzado desde una posición  $z = -3\text{ cm}$  con una velocidad inicial  $\mathbf{v} = 5000\text{ m/s } \mathbf{k}$ .

- describa cualitativamente la trayectoria que seguirá el electrón y que tipo de movimiento efectuará. Justifique su respuesta

- 
- b. calcular la fuerza que actúa sobre el electrón en el momento de ser lanzado en
  - c.  $z = -3$  cm.
  - d. calcular cuál es la velocidad del electrón en el momento de atravesar el plano del anillo.

### Enunciado 8

Una lámina delgada de material no conductor se encuentra situada en el plano  $y$ - $z$  tal como muestra la figura, donde  $a = 0,2$  m y  $b = 0,3$  m. La lámina posee una densidad superficial no uniforme de carga eléctrica positiva, dada por la expresión  $\sigma = 0,79 y z$  ( $\mu\text{C}/\text{m}^2$ ), donde  $y$  y  $z$  están expresados en metros.

- a. calcular el potencial eléctrico para un punto genérico  $P(x,0,0)$  situado sobre el eje  $x$ , suponiendo potencial cero para  $x \rightarrow \infty$ . Qué principio físico utiliza para efectuar el cálculo? Fundamente los pasos a seguir.
- b. Calcular la componente  $x$  del vector campo eléctrico para un punto genérico  $P(x,0,0)$  situado sobre el eje  $x$ .
- c. Calcular la diferencia de potencial entre los puntos  $C(0,1,0,0)$  y  $D(0,8,0,0)$
- d. ¿Cuál será la fuerza eléctrica que actúa sobre el electrón en los puntos  $C$  y  $D$ ?

### Enunciado 9

Para medir la constante dieléctrica de líquidos se construye un capacitor cilíndrico armado con un tubo central de radio exterior  $a = 8$  mm y un tubo concéntrico de radio interior  $b = 12$  mm, aislado del tubo interior. La longitud del condensador es de 20 cm.

Para los ensayos se dispone de una fuente de tensión constante de 120 voltios y de un voltímetro electrostático (electrómetro) con una capacidad propia  $C_e = 0,16$  pF. El dispositivo de medición es el que muestra la figura. Estando el capacitor vacío se conecta brevemente la fuente y el electrómetro indica una diferencia de potencial  $V_1 = 120$  V. Luego se llena el condensador con un líquido orgánico no conductor. La tensión en el voltímetro  $E$  cae  $V_2 = 68$  V. Se pide:

- a. deducir la expresión y calcular la capacidad del condensador cilíndrico vacío.
- b. Obtener una expresión que permita calcular la constante dieléctrica del líquido en función de las tensiones  $V_1$  y  $V_2$  y de las capacidades del condensador vacío y propia del electrómetro  $C_e$ . Calcular esa constante dieléctrica con los datos del ensayo.
- c. Estimar el valor de la energía electrostática del capacitor lleno de líquido
- d. Obtener expresiones para el desplazamiento eléctrico, el campo y la polarización en el capacitor lleno de líquido. Indicar donde esas magnitudes serán máximas.

**Enunciado 10**

Un cascarón esférico conductor de 3 cm de diámetro exterior y 2 cm de diámetro interior rodea concéntricamente una carga puntual de  $-2 \text{ nC}$ , y además está cargada con  $+5 \text{ nC}$  alojados en el cascarón.

- a. indique usando un esquema cómo se distribuye la carga (justifique la respuesta)
- b. Encuentre la expresión de campo eléctrico y el potencial en todo punto del espacio. Ilustre el resultado graficando cualitativamente la componente radial del campo y el valor del potencial en función del radio.
- c. Suponga que un electrón tiene una velocidad radial hacia fuera de  $3 \times 10^{-7} \text{ m/s}$  cuando se encuentra a 4 cm del centro de la esfera. Encuentre la posición en la que se detiene.  $Q_e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$   $m_e = 9.1 \cdot 10^{-28} \text{ g}$

### ANEXO III

## INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ESTUDIANTES EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS: Tratamiento de los datos mediante medidas de correlación y pruebas de significación

A- Características de los enunciados de los problemas de examen

**Tabla 1.** Coeficientes de contingencia correspondientes a las categorías utilizadas para el estudio de la comprensión de los enunciados.

	Información presentada (IP)	Organización de la información (OI)	Modelado subyacente (MS)	Comprensión (C)
Perfil conceptual (PC)	0.287 ns	0.492 * *	0.587 * *	0.610 * *
Información presentada (IP)		0.303 *	0.445 * *	0.356 ns
Organización de la información (OI)			0.706 * *	0.665 * *
Modelado subyacente (MS)				0.754 * *

En cada celda el número de fila superior es el valor del coeficiente calculado, la \* corresponde al nivel de significancia que resulta de comparar el Coeficiente de Contingencia (CC) con la hipótesis nula. A continuación, se señalan las diferencias estadísticas asociadas:

**Tabla 2.** Coeficientes de contingencia máximos correspondientes a las categorías utilizadas para el estudio de la comprensión de los enunciados.

	Perfil conceptual (PC)	Información presentada (IP)	Organización de la Información (OI)	Modelado subyacente (MS)	Comprensión (C)
C <sub>máx</sub>	0,816	0,816	0.816	0.816	0.816

La inspección del valor numérico del CC obtenido será un *claro indicador de la fuerza de la relación entre categorías estudiadas*, respecto del C<sub>máx</sub> calculado. En particular en la tabla 1 se observa un CC= 0.706 que representa 86% del valor de C<sub>máx</sub>.

En la tabla 3 se muestra el cruce de las categorías MS vs OI con la distribución de frecuencias observadas para las diferentes modalidades.

**Tabla 3.** Frecuencias porcentuales observadas para las categorías *Modelo subyacente* (MS) y (OI)

Modelo subyacente (MS)	Organización de la información Aplicación C <sub>max</sub> = 0,866 CC=0.706		
	pictórica	simbólica	Pictórica-simbólica
completitud	3.1	11.8	71.4
aplicabilidad	87.5	80.4	14.3
representatividad	3.1	7.8	14.3

**Tabla 4.** Frecuencias porcentuales observadas para las categorías Organización de la información y Comprensión

	<b>Organización de la información (OI)</b> <b>Aplicación <math>C_{m\acute{a}x}=0.866</math> <math>CC= 0.665</math></b>		
<b>Comprensión(C)</b>	pictórica	simbólica	Pictórico-simbólica
Formulación de hipótesis	25	36.5	-
Explicitación de los datos	50	58.1	40
Relación de los datos con hipótesis	25	5.4	60

**Tabla 5.** Frecuencias porcentuales observadas para las categorías *Modelo subyacente* y *Comprensión*

<b>Modelo subyacente</b>	<b>Comprensión</b> <b>Resolución <math>C_{m\acute{a}x} = 0.866</math> <math>CC = 0.754</math></b>		
	Formula hipótesis	Explicitación de los datos	Relación de los datos con hipótesis
completitud	50	4.1	80
aplicabilidad	25	90.5	6.7
representatividad	25	5.4	13.3

B-.Características de los procesos de resolución analizados en los problemas de examen

Utilizando las categorías y modalidades obtenidas como resultado de la Fase I (tabla 4.4) se procedió a analizar las resoluciones de los estudiantes a fin de caracterizar el perfil conceptual adoptado y su articulación de acuerdo con las estrategias utilizadas. En la tabla 6 se presentan los CC que dan el grado de relación entre las variables.

**Tabla 6.** Tabla de coeficientes de contingencia para los cruces entre las categorías de la Tabla 4.4

	Tipo de perfil		Conceptos físicos	Tipo de información		Presentación resultados	Conceptualización concepto E	Nivel complejidad E
	Perfil Conceptual (PC)	Incidencia a datos (ID)	Simbolización (S)	Información Seleccionada (IS)	Organización de la información (OI)	Procedimiento (P)	Identificación (I)	Vinculación (V)
(PC)	0.643 **	0.578 **	0.512 **	0.593 **	0.554 **	0.475 **	0.466 0.001	0.645 **
(ID)		0.520 **	0.540 **	0.608 **	0.359 0.022	0.505 **	0.416 0.002	0.675 **
(S)			0.406 0.019	0.577 **	0.519 **	0.443 0.004	0.376 0.058	0.531 **
(IS)					0.427 0.008	0.526 **	0.543 **	0.483 **
(OI)					0.575 **	0.536 **	0.556 **	0.620 **
(P)						0.663 **	0.447 **	0.562 **
(I)							0.447 0.003	0.601 **
(V)								0.611 **

**Tabla 7.** C<sub>máx</sub> correspondiente a cada cruce posible

	Tipo de Perfil		Tipo de información		Conceptos físicos	Proceso	Presentación resultados	Conceptualización concepto E	Nivel complejidad E
	Perfil conceptual (PC)	Incidencia a Datos (ID)	Información Seleccionada (IS)	Organización de la Información (OI)	Simbolización (I)	Resolución (R)	Procedimiento (P)	Identificación (I)	Vinculación (V)
<b>C<sub>máx</sub></b>		0.816	0.866	0.866	0.866	0.866	0.816	0.866	0.866

**Tabla 8.** Tabla de contingencia para las categorías *Perfil conceptual* y *Incidencia de los datos*

<b>Perfil Conceptual</b>	<b>Incidencia de los datos</b>		
	Conocimiento físico	Estructura conceptual	No se puede identificar
coulombiano	64.2	10.5	-
maxwelliano	7.5	89.5	-
mixto	13	-	-
No se reconoce perfil	9	-	-

**Tabla 9.** Tabla de contingencia que muestra que muestra en porcentaje las frecuencias observadas para las categorías *Perfil Conceptual* y *Vinculación de Contenidos*

<b>Perfil Conceptual</b>	<b>Vinculación de contenidos</b> C <sub>máx</sub> = 0.866 CC0 0.645		
	operacional	conceptual	Mixtos
coulombiano	67.7	11,1	25
maxwelliano	6.2	88.9	25
mixto	16.9	-	50
No se reconoce perfil	9.2	-	-

**Tabla 10.** Tabla de contingencia con las frecuencias porcentuales observadas para las categorías *Perfil Conceptual* y *Organización de la Información*

Perfil conceptual	Organización de la Información		
	C <sub>máx</sub> = 0.816 CC= 0.540		
	pictórica	simbólica	pictórica-simbólica
coulombiano	61.8	93.8	39.1
maxwelliano	5.9		41.3
mixto	14.7	6.3	15.2
No se reconoce perfil	17.6	-	4.3

**Tabla 11.** Tabla de contingencia con las frecuencias porcentuales observadas para las categorías *Vinculación de contenidos* e *Información Seleccionada*

Vinculación de contenidos	Información seleccionada			
	C <sub>máx</sub> = 0,866 CC= 0.531			
	visual	relevante	general	NS
operacionales	78	18.2	57.6	80
conceptuales	9.8	72.7	18.2	
mixto	7.3	9.1		
ns	2		24.2	20

**Tabla 12.** Tabla de contingencia que muestra la relación, en porcentaje, de las frecuencias observadas para las categorías *Resolución* y *Vinculación de Contenidos*

	<b>Vinculación de Contenidos</b> C <sub>máx</sub> = 0.866 CC= 0.562			
<b>Resolución</b>	operacionales	conceptuales	mixto	NS
analítico	56.3	25	12.5	6.3
Numérico	-	9.5	2.4	14.3
mixto	-	28.6	2.9	-
ns	-	-	-	-

**Tabla 13.** Tabla de contingencia que muestra la relación, en porcentaje, de las frecuencias observadas para las categorías Simbolización e Identificación del concepto de E

	<b>Identificación del concepto de E</b> C <sub>máx</sub> = 0.866 CC= 0.556		
<b>Simbolización</b>	Interacción E-F	Caracterización vectorial de E	Otras interacciones
general	28.9	18.3	-
puntual	47	58.3	25
articulada	15	25	75
errónea	3	8.3	-

**Tabla 14.** Tabla de contingencia que muestra en porcentaje las frecuencias observadas para las variables

Resolución	Identificación del concepto de E C <sub>máx</sub> = 0.866 CC=0.447			
	Interacción E-F	Caracterización vectorial de E	Otras interacciones	NS
Analítico	13.2	25		16
Numérico	42.1	36	50	42
mixto	44.7	36	50	35
NS		2,8		7

## ANEXO IV

### FUNDAMENTOS FÍSICOS DEL CONCEPTO CAMPO ELÉCTRICO

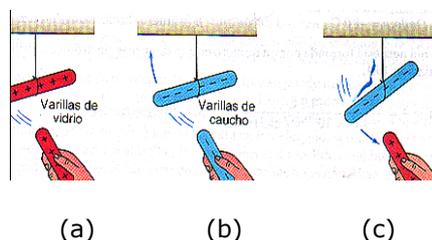
#### A- Introducción

De acuerdo con lo presentado en los apartados anteriores, la interacción que al cabo de los siglos se conoce como eléctrica, proviene de una propiedad fundamental de la materia que se la llama *carga*. En particular, en el área de la electrostática el comportamiento de la carga implica conocer cómo se transfiere, la existencia de los dos tipos de carga, cómo interactúan entre sí, etc. La carga es una cantidad fundamental al igual que la masa pero, a diferencia de ella que varía relativísticamente con la velocidad, la carga es un invariante, independientemente de su movimiento.

Existe una gran variedad de experiencias simples para demostrar la existencia de fuerzas y cargas eléctricas. Tomando varillas de distintos materiales aislantes (que no fueron frotadas previamente), al acercarlas a otros cuerpos que tampoco fueron frotados, no se observa efecto alguno. Sin embargo, si se frota las varillas de diferentes materiales aislantes (caucho, vidrio, acrílico, polipropileno, etc.) y se las acerca a otros objetos que se suponen neutros (no cargados) como podrían ser trozos de telgopor o plásticos en general, o pequeños papelitos o cabellos, se observa que resultan atraídos por las varillas.

Si las varillas son metálicas (conductoras) luego de ser frotadas no ejercen efecto alguno sobre los pequeños papelitos o cabellos

Con estas simples experiencias, se manifiestan fuerzas sobre los cuerpos (trozos de papel o cabellos) que inicialmente se hallaban en reposo porque se observa que se mueven hacia la barra o modifican su velocidad.



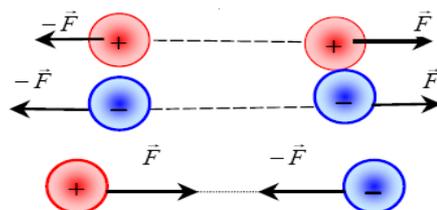
**Figura 1.** Barras cargadas colgantes sostenidas por hilos aislantes (extraído del libro Física Jerry Wilson Segunda Edición, p. 483)

Las figuras 1(a) y (b) muestran barras colgantes de diferentes materiales (vidrio y caucho) sostenidas por hilos aislantes que fueron frotadas con un mismo paño acercándose otras varillas de igual material a cada una de las anteriores pudiéndose observar un movimiento de alejamiento entre ellas (por lo que inferimos existe repulsión entre las mismas). La figura 1 (c) muestra que al acercar una barra de vidrio a otra de caucho, las que previamente fueron frotadas se atraen entre si.

A partir de los experimentos descriptos, se puede hipotetizar acerca de lo sucedido. Es así que se supone que al frotar las barras algunas de ellas adquieren una propiedad: carga eléctrica. Los efectos que se visualizan en cuanto a las fuerzas eléctricas entre las mismas son de *atracción o de repulsión* a diferencia de las fuerzas gravitacionales que son sólo de atracción.

A partir de resultados experimentales se perfila un modelo que trata de justificar lo observado, el mismo postula la existencia de dos tipos de carga eléctrica. A una se la denomina positiva (+ $q$ ) y la otra negativa (- $q$ ).

Cuando se frota el vidrio con un cierto tipo de paño se indica que se carga positivamente y si se frota algunos otros plásticos (polietileno, polipropileno, ámbar) se cargan contrariamente a la de vidrio como fuera observado. Entonces se han cargado negativamente (respecto al material que se usa para frotar).

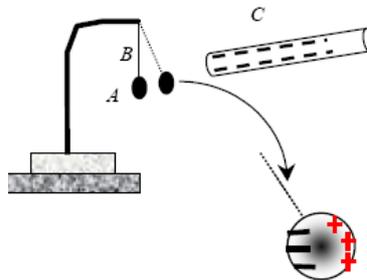


**Figura 2.** Cuerpos con la misma carga se repelen y con distinta se atraen

Un modo de detectar la existencia de cargas eléctricas (o los efectos de la misma), es mediante un péndulo eléctrico (Figura.3). El mismo consiste en una pequeña esfera  $A$  que cuelga de un hilo aislante  $B$  y que se puede cargar o descargar con facilidad al tocarla o acercarla a otro cuerpo previamente cargado. Al acercarla a un cuerpo

---

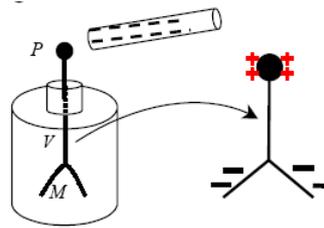
cargado *C* (barra previamente frotada) se observa que el hilo con la esfera, se desvía de la vertical y, por lo tanto, que fue atraída por la barra.



**Figura 3.** Péndulo eléctrico para detección de cargas

Hipotetizando: algunas de las cargas (positivas y negativas) contenidas en la esfera *A* se redistribuyeron (fenómeno que se denomina inducción o polarización eléctrica) por efecto de la cercanía de la barra frotada. Las de signo contrario se encuentran próximas a la barra cargada y son repelidas las de igual signo. Así, al acercar un cuerpo cargado (de cualquier signo) a otro en estado neutro de cargas, siempre se produce un reordenamiento de cargas sobre este último.

Otra forma de detección es mediante un electroscopio (Figura. 4) que consiste en un recipiente de material aislante que posee un vástago metálico *V* con dos hojuelas *M* muy flexibles y livianas que penden de sus extremos y que pueden abrirse. Todo el sistema está protegido por un recipiente con tapa que lo aísla de tierra y de flujos de aire que podrían mover y romper las hojuelas. Al acercar una barra o cuerpo cargado al extremo superior del electroscopio (que termina con forma esférica) se inducen en la misma, cargas de signo contrario a la de la barra, quedando en la parte inferior la misma cantidad de cargas que en la superior, pero de signo contrario (en su totalidad el sistema sigue neutro). De este modo el exceso de cargas de un mismo signo en las hojuelas produce la apertura por repulsión (por ser muy flexibles) entre las mismas.



**Figura 4.** Electroscopio para detección de cargas eléctricas

Resulta interesante estudiar cómo se pueden separar las cargas eléctricas, porque de este modo se modifica la energía almacenada en dicho sistema de cargas. Así, cuando la misma se requiera, podrá ser devuelta o entregada a algún dispositivo, mecanismo que ocurre en algunos generadores eléctricos. Dichas cargas se pueden transferir a otro cuerpo o sistema por contacto directo. Cuando se acerca un cuerpo cargado a otro que se halla descargado se inducirá sobre éste una cantidad de cargas de signo contrario (redistribución de cargas en el conductor neutro) y si se lo toca se transferirán cargas.

Una propiedad de las cargas eléctricas es que la cantidad que posee un cuerpo o sistema que se halla aislado debe permanecer constante, esto quiere decir que la *carga eléctrica es una magnitud física que se conserva*. Así, el exceso de cualquiera de ellas en un cuerpo determina su carga. Cuando el cuerpo posee igual cantidad de cargas positivas y negativas se dice que está descargado o neutro (y no que no posee cargas).

Otra característica de la carga eléctrica es que se halla cuantizada y siempre se encuentran múltiplos enteros de la carga elemental que es la del electrón y cuyo valor resulta:  $q = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

## B- HIPÓTESIS DEL MODELO ELÉCTRICO

El mismo se organiza con los siguientes supuestos:

- Parte de la materia se halla constituida por 2 tipos de cargas (+q y -q).

- Los cuerpos cargados poseen en exceso algún tipo de cargas (los descargados o neutros poseen igual cantidad de cargas de un tipo y otro).
- Cuerpos con cargas de igual signo se repelen (cuerpos cargados con diferentes signos se atraen).
- La carga eléctrica en un sistema aislado se conserva.
- La carga se halla cuantizada, es decir, presenta siempre un valor que es múltiplo entero de una carga elemental que es la del electrón. Esto se puede formalizar como:  $q = n \times e$  donde  $e = \pm 1,6 \cdot 10^{-19}$  Coulomb, siendo  $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$

### C- FUERZA ELÉCTRICA

La figura 5 esquematiza la balanza de Cavendish, que consiste en dos esferas iguales que pueden cargarse por contacto ( $q_1$ ) y unidas por un vástago aislante donde el sistema cuelga de un hilo delgado. Al acercar otra esfera cargada ( $q_2$ ) las mismas se ejercen fuerzas que hace girar el sistema, siendo el ángulo de giro proporcional a la fuerza de interacción entre las cargas que poseen las esferas.

A partir de resultados experimentales, Coulomb postuló, como se señalara anteriormente, la ley empírica: la magnitud de la fuerza eléctrica ( $F_{12}$ ) entre dos cargas puntuales interaccionando es directamente proporcional al producto de sus cargas ( $q_1$  y  $q_2$ ) e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que se hallan ( $1/r^2$ ).

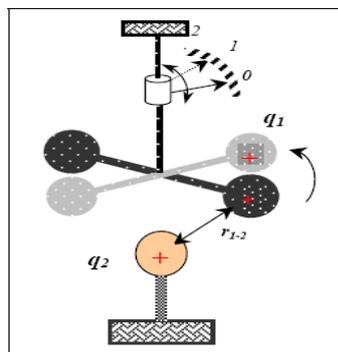
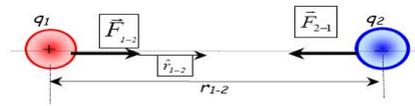


Figura 5. Balanza de Cavendish

La dirección de las fuerzas es la recta que une a las cargas. La fuerza es de atracción si las cargas son de distintos signos y de repulsión si son de igual signo.



**Figura 6.** Fuerza eléctrica entre dos cargas \$q\_1\$ y \$q\_2\$

$$F_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}, k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \epsilon_0 = 8,8510^{-12} \left[ \frac{C^2}{Nm_2} \right], \vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}, \hat{r}_{12} \text{ versor, radial}$$

$\epsilon_0$  permitividad del vacio

siendo:  $F_{1-2}$  la fuerza que la partícula 1 le ejerce a la 2 y  $F_{2-1}$  la fuerza sobre la partícula 1 debido a la 2 (Figura. 6).

Un aspecto a destacar sobre la validez de aplicación de la fórmula que representa la ley de Coulomb es que los cuerpos que interaccionan deben poseer un tamaño pequeño comparado con la distancia que se hallan separados. La ley de Coulomb reconoce las fuerzas de origen eléctrico cuando las cargas se hallan en reposo y se verá más adelante que cuando se hallan en movimiento además entrarán en juego otras fuerzas (electromagnéticas).

Cuando se hallen presentes varias cargas y se desea conocer la fuerza eléctrica sobre alguna de ella (por ejemplo, la partícula 1), se calculan las fuerzas que cada una de las cargas restantes ejerce sobre la partícula (por ejemplo, entre  $q_1$  y  $q_2$ , luego entre  $q_1$  y  $q_3$ , luego entre  $q_1$  y  $q_4$ ,  $q_1$  y  $q_i$ ), finalmente se determina la fuerza resultante sobre la partícula 1, aplicando el principio de superposición.

## D- CAMPO ELÉCTRICO

Una forma de independizarse del fenómeno de interacción entre partículas o cuerpos cargados que se hallan separados, es mediante el concepto de campo

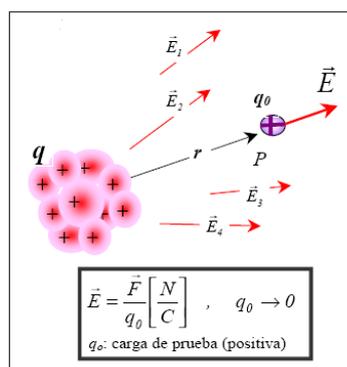
---

eléctrico, desarrollado por Michel Faraday (1791-1867), resolviendo el problema de interpretación del fenómeno de interacción a distancia (fuerza a distancia).

Como se detalló en los fundamentos históricos, Faraday fue el primero en introducir este tipo de representación visual de campo de fuerza eléctrico, el esquema que utilizó lo denominó líneas de fuerza. La idea de Faraday fue un enfoque gráfico profético nacido de su notable intuición, pero carente de rigor matemático, que daría más tarde Maxwell.

El modelo teórico actual es el campo eléctrico que impregna el espacio en torno a todas y cada una de las cargas. Si se tienen una carga positiva y se le acerca una esferita de grafito atada a un hilo aislante electrizado positivamente, será repelida por el objeto de estudio, con independencia de donde se sitúe la esferita. En cada punto, el detector revelará la intensidad y dirección de la fuerza eléctrica. Lo que se visualiza es el campo de fuerza como si emergiera del objeto cargado, llenando todo el espacio.

Un cuerpo cargado, como el de la figura.7, modifica el espacio alrededor del mismo. Este espacio se halla 'alterado o tensionado', así se supone que existe algo que no se ve pero que se pone de manifiesto si se colocan pequeños objetos cargados en el mismo. Entonces se expresa que las cargas generaron un *campo eléctrico*  $E_1, E_2, E_3, E_4, \dots$  y que se detectan al colocar otro cuerpo cargado o carga muy pequeña  $q_0$  en el lugar. (En forma semejante alrededor de la tierra existe un campo gravitatorio generado por toda su *masa* y se da cuenta del mismo dejando libre una tiza en el mismo y observando los efectos que produce.)



**Figura 7.** Campo eléctrico alrededor de un cuerpo cargado

Para determinar el campo  $\mathbf{E}$  en un punto P debido a una distribución de cargas supongamos colocar en dicho punto una pequeña carga exploradora positiva. Sobre ella actúa la fuerza eléctrica  $F = k \frac{qq_0}{r^2}$

Si se divide la fuerza eléctrica por la carga  $q_0$ ,

$$\frac{F}{q_0} = k \frac{q}{r^2}$$

se independiza del valor de la carga exploradora y se tiene una expresión que define una función para cada punto del espacio alrededor del cuerpo cargado q.

Dado que la fuerza es una magnitud vectorial, la función hallada también lo deberá ser, teniendo la misma dirección y sentido que la fuerza eléctrica, dado que la carga  $q_0$  es positiva. Así, la expresión matemática de campo eléctrico es

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \left[ \frac{N}{C} \right]$$

## E- REPRESENTACIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO

Existen diferentes formas de representar el campo eléctrico, una de las más utilizadas es mediante líneas que deben cumplir las siguientes reglas para su trazado:

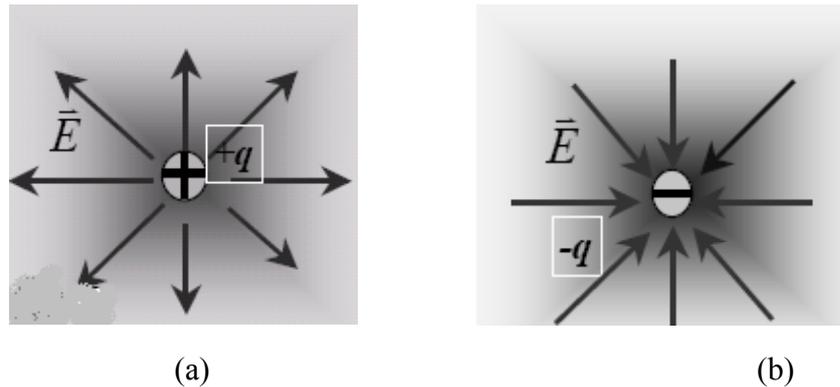
- Las líneas de campo eléctrico nacen en las cargas positivas y terminan en las cargas negativas, siendo el número que comienzan o terminan proporcional a la cantidad de cargas eléctricas.
- Las líneas de campo indican la dirección del campo eléctrico, así en un punto, el campo tiene la dirección tangente a la línea de campo.
- La cantidad de líneas de campo eléctrico dibujadas es proporcional a la intensidad del campo eléctrico.

Las figuras 8 a y b muestran las líneas de campo eléctrico para diferentes distribuciones de carga en el espacio. Como el campo disminuye a medida que aumenta la distancia a la carga que lo genera, esto se manifiesta en la reducción en

---

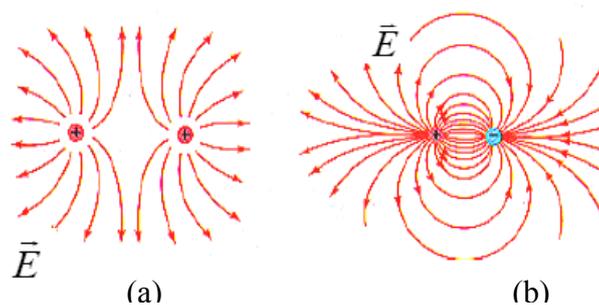
la densidad de líneas (esto se puede imaginar como la cantidad de líneas que atraviesan una superficie unitaria perpendicular a las mismas). En el infinito el campo resultará nulo.

$$E = k \cdot \frac{q}{r^2}$$



**Figura 8.** Líneas de campo eléctrico de una carga puntual positiva (a) y una negativa (b) en el espacio

La figura.9a muestra la distribución del campo eléctrico generado por dos cargas puntuales de igual magnitud y signo y figura.9b de diferente signo. Esta última configuración de cargas se denomina dipolo eléctrico. El dibujo de las líneas se puede realizar a partir de aplicar el principio de superposición en cada punto del espacio y luego considerar las reglas que fueron enunciadas.

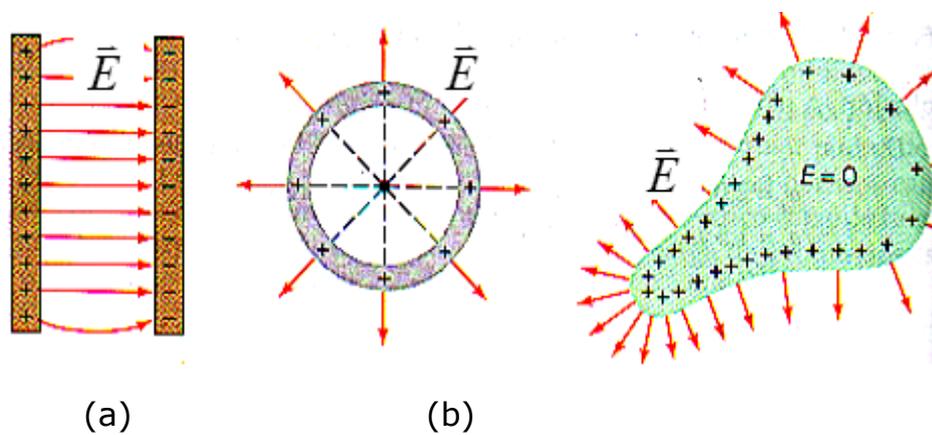


**Figura 9.** Líneas de campo eléctrico de dos cargas puntuales positivas (a) y de un dipolo eléctrico (una negativa y otra positiva) (b) en el espacio (extraído del libro Física Jerry Wilson Segunda Edición, p. 496).

La figura 10a representa dos placas plano paralelas cargadas con igual cantidad de cargas y signo contrario. Se observa que el campo eléctrico entre las placas resulta uniforme.

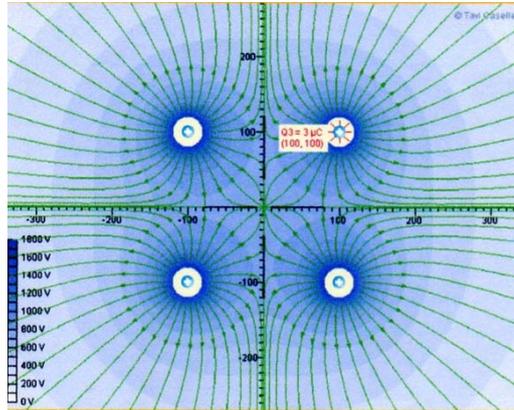
La figura 10b representa un anillo no conductor cargado uniformemente. Puede observarse que el campo generado en el plano de la figura pareciera el de una carga puntual.

La figura 10c muestra un cuerpo conductor con densidad de carga superficial no uniforme (deberían dibujarse sobre la superficie exterior y no en la interior) y el interior del mismo donde el campo es nulo.



**Figura 10.** Líneas de campo eléctrico de dos placas plano paralelas con cargas opuestas (a), de un anillo no conductor con una distribución uniforme de carga positiva (b) y de un cuerpo conductor con carga superficial no uniforme (c) (extraído del libro Física Segunda Edición Jerry Wilson, p. 496).

Otra configuración que se presenta aquí y se retomará tanto en la propuesta de intervención didáctica como en la indagación evaluativa (capítulo 6) corresponde a cuatro cargas situadas cada una de ellas en los vértices de un cuadrado, como indica la figura 11.



**Figura 11.** Configuración de cuatro cargas idénticas positivas

## F- CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO PRODUCIDAS POR PARTÍCULAS CARGADAS

El campo eléctrico  $\vec{E}$  en un punto determinado (P), debido a una distribución de cargas puntuales que se hallan distribuidas en forma discreta en el espacio (Fig.12) puede calcularse aplicando la ley de Coulomb y el principio de superposición de fuerzas. Así, si se tienen las cargas  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ , distribuidas en el espacio, la fuerza resultante sobre una partícula de prueba  $q_0$  será la suma vectorial de las interacciones  $q_1-q_0, q_2-q_0, q_3-q_0$ , donde  $q_i-q_0$  señala la fuerza actuante sobre  $q_0$  ejercida por  $q_i$ . En consecuencia, la fuerza y el campo eléctrico resultante está dado por las dos expresiones siguientes, respectivamente:

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = k \frac{q_1 q_0}{r_1^2} \hat{r}_1 + k \frac{q_2 q_0}{r_2^2} \hat{r}_2 + k \frac{q_3 q_0}{r_3^2} \hat{r}_3 + \dots = k q_0 \sum \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = k \sum \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

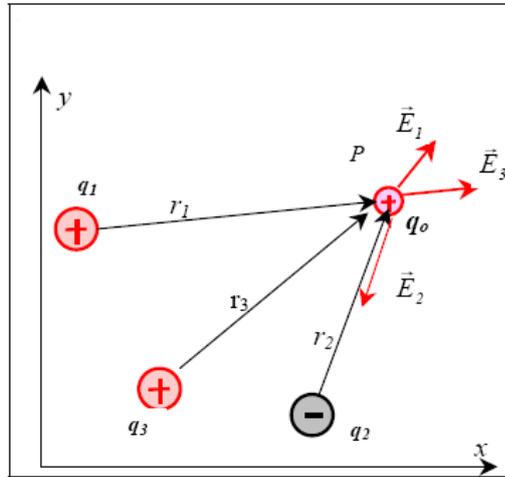


Figura 12. El campo eléctrico producido por 2 o más cargas puntuales

**G- CAMPO ELÉCTRICO GENERADO POR UNA DISTRIBUCIÓN CONTINUA DE CARGAS ELÉCTRICAS**

Las cargas pueden estar distribuidas a lo largo de una línea de longitud  $l$ , en cuyo caso se habla de la densidad lineal  $\lambda = Q/l$ . Puede, también, distribuirse en dos dimensiones, con una densidad de carga superficial  $\sigma = Q/S$ , o bien, repartirse sobre un volumen con densidad volumétrica  $\rho = Q/V$ .

En la figura. 13 se muestra una porción muy pequeña de carga  $dq$  tomada sobre una distribución continua.. Cualquier elemento de carga  $dq$  genera en un punto  $P$  del espacio un campo eléctrico:

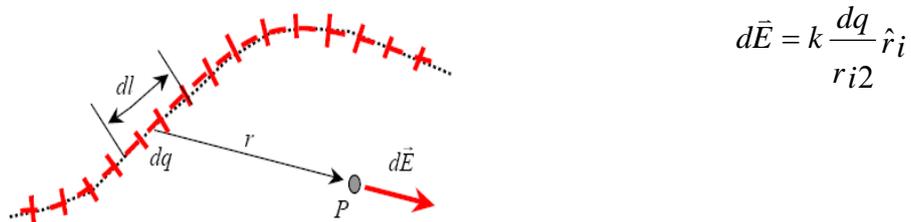


Figura 13. Campo generado por una distribución continua de cargas

Si deseamos conocer el campo resultante  $\vec{E}$  debemos realizar la sumatoria de las contribuciones de cada elemento de carga (según la densidad de cargas correspondiente):

$$\vec{E} = \int d\vec{E} = k \int \frac{dq}{r^2} \hat{r} \quad \vec{E} = k \int \frac{\lambda dl}{r^2} \hat{r}, \vec{E} = k \int \frac{\sigma dA}{r^2} \hat{r}, \vec{E} = k \int \frac{\rho dV}{r^2} \hat{r}, ,$$

## H- PARTÍCULA CARGADA EN UN CAMPO ELÉCTRICO $\vec{E}$

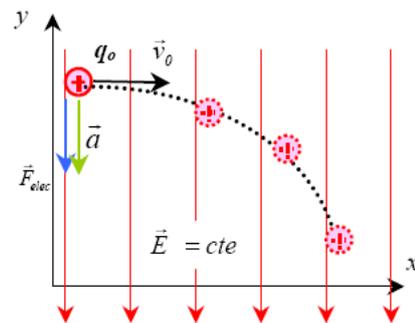
Una partícula  $q_0$  en reposo en un campo eléctrico experimentará una fuerza  $\vec{F} = q_0 \vec{E}$  y, por lo tanto, se moverá en la misma dirección del campo eléctrico. El sentido del movimiento dependerá del signo de la partícula cargada.

Si adoptamos una partícula de carga  $q_0$  positiva en movimiento, deberá considerarse la dirección de dicho movimiento respecto a la dirección del campo eléctrico. Supongamos que la partícula cargada comienza a moverse perpendicularmente en un campo eléctrico uniforme  $\vec{E}$  (Figura. 14), y que el campo gravitatorio es despreciable. Las siguientes expresiones permiten describir el movimiento de la partícula cargada:

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_{elec} = m \cdot \vec{a} \quad - q_0 E \hat{j} = m \cdot \vec{a}$$

$$a_y = -\frac{q_0 \cdot E}{m} = \frac{dv_y}{dt} \quad ; \quad a_x = 0 \quad v_y = -\left(\frac{q_0 E}{m}\right)t \quad ; \quad v_x = v_{0x} = cte$$

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}\left(\frac{q_0 E}{m}\right)t^2 \quad si : v_{0y} = 0; \quad x = x_0 + v_{0x}t \quad x_0 = 0$$



**Figura 14.** Trayectoria de la partícula cargada

Despejando  $t = x/v_0$  de la ecuación de movimiento en la dirección  $x$ , y reemplazado en la expresión  $y = y(t)$ , se obtiene la ecuación de la trayectoria parabólica seguida por la partícula:

$$y = y_0 - \left( \frac{q_0 \cdot E}{2 \cdot m \cdot v_{0x}^2} \right) x^2$$

Si la partícula  $q_0$  fuera negativa el movimiento en el eje  $y$  será de sentido contrario al anterior, por lo tanto, se desviará hacia arriba.

(Nótese que existe una analogía entre el tiro de proyectil en un campo gravitatorio y el disparo de una carga eléctrica en un campo eléctrica uniforme).

## I - DIPOLOS ELÉCTRICOS

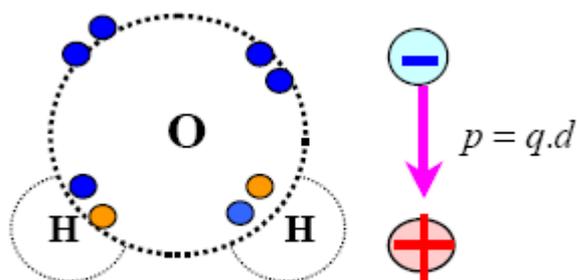
Numerosas sustancias constituidas por átomos y moléculas pueden encontrarse en la naturaleza con una carga neta nula pero con las cargas positivas y negativas distribuidas de manera tal que los centros de cargas correspondientes a cada tipo no coinciden, existiendo una distancia  $d$  entre ambos. En estos casos se dice que el sistema se encuentra polarizado y constituye un dipolo eléctrico como el representado en la figura. 9b.

Cuando se encuentran polarizadas se puede identificar alguna separación espacial de cargas de diferente signo. Dicha separación de cargas eléctricas viene representada como: " $\delta+$  a  $\delta-$ " Ejemplo de esto lo constituyen las siguientes moléculas:  $HF$ ,  $HCl$ ,  $HBr$ ,  $HI$ . En estas moléculas es posible cuantificar su grado de separación y polaridad mediante las electronegatividades y así obtener los momentos dipolares para cada molécula a partir de la diferencia de electronegatividades entre ellas, como se muestra en la Tabla.1. (Tanto las electronegatividades como la diferencia de electronegatividades entre las mismas (que es una medida del momento dipolar) se hallan en unidades arbitrarias.)

**Tabla.1.** Momentos bipolares de algunas moléculas

Fórmulas química	H — F	H — Cl	H — Br	H — I		
Electronegatividad	2,1	4	2,1	3	2,1	2,1
Diferencia de electronegatividad	1,9	0,9	0,7	0,4		

Un dipolo eléctrico está constituido por un par de cargas (consideradas como puntuales) que poseen igual magnitud y de signos opuesto. El interés del estudio por los dipolos se debe a que muchas sustancias se hallan polarizadas o se polarizan mostrando un comportamiento característico. Este comportamiento se analiza para cada tipo de molécula dipolar. Así por ejemplo la molécula de agua (Figura 15) se halla polarizada debido a un corrimiento del electrón de unión del hidrógeno con el oxígeno debido a la afinidad de este por los electrones y del hidrógeno como dador.



**Figura 15.** Momento bipolar de la molécula de agua

Este fenómeno se explica a partir de aplicar la denominada 'regla del octeto', que postula la tendencia de los compuestos químicos a alcanzar la configuración electrónica de los gases nobles cuando comparten electrones. Así, en la molécula de agua el oxígeno comparte ocho electrones de la capa externa adquiriendo la configuración del neón (muy estable), mientras que el hidrógeno comparte dos electrones que resulta la configuración del helio (muy estable)

Esto hace que el agua sea un excelente disolvente de sustancias iónicas como las sales (CLNa, CLK, SO<sub>4</sub>Ca, etc.). Dichas sales al disolverse en agua, se disocian y los iones positivos y negativos son atraídos por las moléculas de agua polarizada, estabilizando la solución y facilitando toda la química que conocemos que se produce en soluciones acuosas. Esto muestra la importancia de la polarización de la molécula de agua en todos los procesos bioquímicos en los seres vivos, por ejemplo, aquellos que suceden a través de las membranas celulares donde se intercambian iones. Por otra parte algunas sustancias polarizadas en presencia de un campo eléctrico exterior experimentan rotaciones y traslación debidas a un momento de fuerzas y resultante de fuerza.

Ciertas moléculas se hallan polarizadas naturalmente, debido a un desplazamiento de la nube de electrones hacia alguno de los átomos que conforma la molécula. De este modo según las cargas que se separen y la distancia existirán diferentes momentos dipolares como lo muestra la tabla de la figura 16.

Generalmente el enlace covalente se produce cuando reaccionan los no metales, debido a que sus electronegatividades no son lo suficientemente grandes y, en consecuencia, no se efectúa la transferencia de electrones. Decimos entonces que el enlace covalente se forma cuando dos átomos no metálicos comparten uno o más pares de electrones. Ejemplo de ello lo constituye la molécula de H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>; O<sub>2</sub>. Este tipo de moléculas poseen un enlace covalente no polar. Sin embargo numerosas moléculas presentan un estado de polarización permanente, siendo la densidad electrónica no simétrica. Sustancias polares (con momento dipolar eléctrico 'p') son: H<sub>2</sub>O; BrH; CLH; etanol; metanol (Figura 16). Sustancias no polares: N<sub>2</sub>; O<sub>2</sub> ; CH<sub>4</sub> ; C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>.

Momentos dipolares de moléculas	
Moléculas	Momento dipolar (C-m)
H <sub>2</sub> <sup>(δ+)</sup> O <sup>(δ-)</sup>	6,1.10 <sup>-30</sup>
H <sup>(δ+)</sup> Cl <sup>(δ-)</sup>	3,4.10 <sup>-30</sup>
N <sup>(δ-)</sup> H <sub>3</sub> <sup>(δ+)</sup>	5,0.10 <sup>-30</sup>
γN <sup>(δ-)</sup> - H <sup>(δ+)</sup>	3,0.10 <sup>-30</sup>
γC <sup>(δ+)</sup> == O <sup>(δ-)</sup>	8,0.10 <sup>-30</sup>

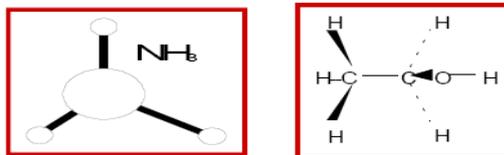
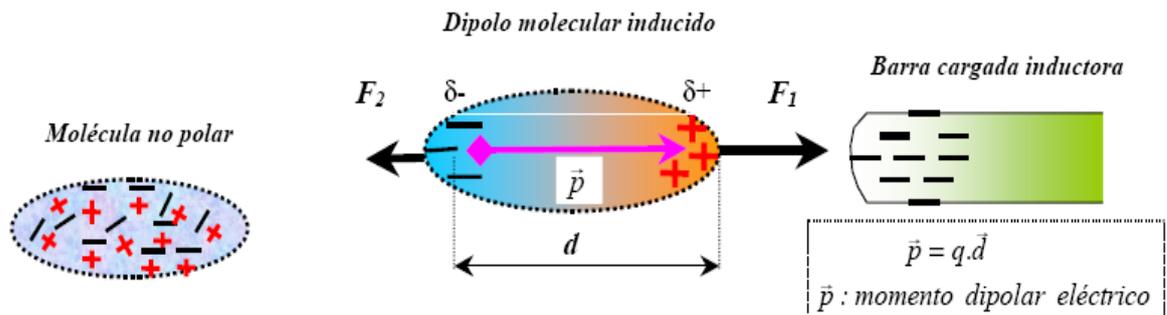


Figura 16. Momentos dipolares de algunas moléculas

---

En el caso de cuerpos formados por moléculas no polares, la presencia de un campo eléctrico externo induce una redistribución de cargas como muestra la figura 17. Esto permite explicar los fenómenos de atracción por inducción de cuerpos con carga neta nula.



**Figura 17.** Momento bipolar producido por la inducción eléctrica (extraído del libro Física Jerry Wilson Segunda Edición, p. 488).

## ANEXO V

### SITUACIONES PROBLEMÁTICAS Y CUESTIONES

#### SITUACIONES PROBLEMÁTICAS

Debes interpretar, analizar y justificar las siguientes cuestiones problemáticas que son de utilidad para afianzar algunos conceptos fundamentales relacionados al tema electrostática.

1- Dos cargas puntuales (protón y electrón) como las que posee el átomo de hidrógeno presentan interacción gravitacional y eléctrica, podría obtener una relación de fuerzas entre una y la otra para conocer el orden de magnitud superior de uno respecto a la otra

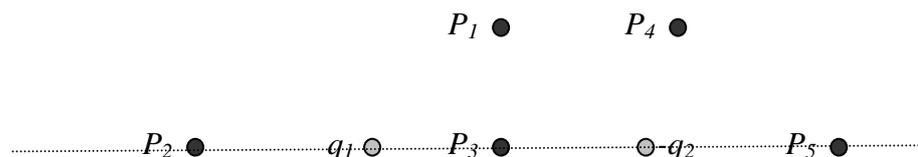
2- Dos cargas puntuales en el vacío se hallan a una distancia "d" luego se modifica la separación de las mismas.

Puedes analizar y justificar cuánto cambia la fuerza de interacción si:

2.a- se duplica "d"; se triplica "d"; se reduce "d" a la mitad.

3- Representa gráficamente la fuerza neta o resultante sobre una carga eléctrica  $-q_3$  cuando se la ubica en los siguientes puntos:  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$  según muestra la figura.

Suponer que:  $|+q_1| > |-q_2| = |-q_3|$



4- Se frota una barra plástica con un paño de lana y se acerca a unos trozos de corcho que se hallan sobre una mesa de plástico. Se observa que los mismos son atraídos y luego repelidos.

4.a- Puedes explicar dicho fenómeno, con las leyes de la electrostática y las propiedades de la carga eléctrica y finalmente realizar una representación gráfica del mismo.

---

4.b- Si se cambia la barra plástica por una metálica ¿que dificultades presenta este experimento?

5- Se tiene una esfera conductora de radio  $r_0$  cargada con "+Q" y aislada, luego acerco y toco a otra esfera de idénticas dimensiones que la anterior pero sin carga neta. Luego se las separa una cierta distancia "d". Considera que ambas esferas se hallan aisladas de tierra.

5.a-Analiza y representa gráficamente justificando lo que ocurrirán con las cargas eléctrica de ambas esferas suponiendo que:  $d=3r_0$  y  $d=100r_0$ .

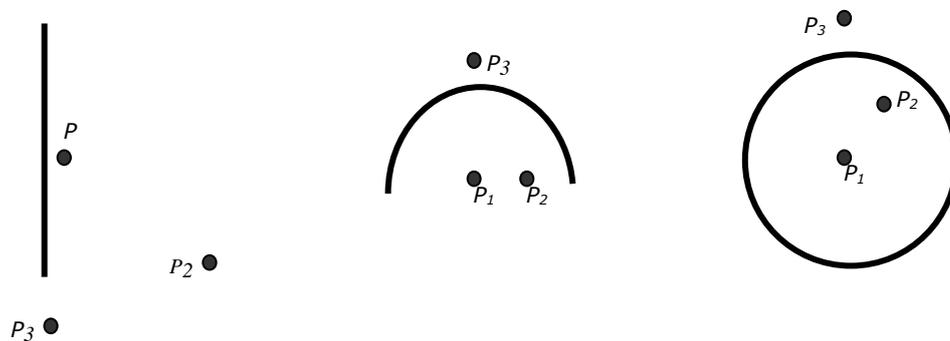
5.b- ¿Cuanto vale la fuerza sobre una carga de prueba "+q<sub>0</sub>" ubicada en el punto medio entre las dos esferas cargadas?

5.c- ¿Cómo se modifica y porqué las respuestas del item "a" si las esferas fuesen de material plástico?.

6-Una barra aislante delgada y recta de longitud "l" se halla cargada con densidad de cargas lineal uniforme. Inicialmente se dobla en forma de semi-circunferencia y luego con forma de circunferencia.

6.a-Para las siguientes representaciones puedes dibujar el campo eléctrico en los puntos  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ . Luego dibuja las líneas de campo eléctrico en diferentes vistas.

6.b-Cómo se modifica la representación gráfica anterior y los valores de campo en dichos puntos si la densidad de cargas se duplica



7- Se tiene una placa conductora aislada, cuadrada de lado "l" y espesor despreciable y se halla cargada con densidad uniforme. Luego se la dobla en forma de cilindro.

Realiza una representación del campo eléctrico en los alrededores de los cuerpos cargados y describir dicha representación utilizando argumentos del tema

8- Se tienen dos esferas huecas delgadas y conductoras de radio  $r_0$  y  $r_0/4$  igualmente cargadas y muy lejanas una de la otra. Posteriormente se acercan las esferas hasta alcanzar una distancia  $5r_0$ .

8.a- Compara los campos eléctricos en cada superficie cuando las esferas se hallan lejanas entre sí.

8.b-¿Cómo deberían ser las relaciones de las densidades superficiales de carga y entre las cargas para que el campo sea de igual valor en ambas superficies?.

8.c-¿Cuál es la fuente de error si se calcula la fuerza de interacción entre las esferas cargadas como si se comportaran como cargas puntuales?

8.d- Si se coloca una esfera en el interior de la otra sin tocar sus paredes, ¿se ejercerán fuerza entre las esferas?, ¿de qué y quienes depende el campo entre las esferas y fuera de las mismas?

8.e-Realiza una representación del campo eléctrico en los alrededores de los cuerpos cargados en todas las situaciones enunciadas y describe dicha representación utilizando argumentos del tema.

8.f-Repite los ítems. a, b, c, d, e si las esferas poseen cargas de igual magnitud y signo contrario.

9- Se tiene un anillo de radio  $r_0$  uniformemente cargado con cargas negativas.

9.a- Dibuja y justifica la ubicación de las cargas eléctricas sobre el mismo, caracterizar el material donde se hallan las cargas y realiza una representación mediante líneas de campo eléctrico.

9.b- Evalúa el campo eléctrico en el centro del anillo y a distancias muy lejanas del mismo ( $l \gg r_0$ ) justificar sus valores.

---

**10-** Se tiene un anillo de radio  $r_0$  cargado con cargas negativas. La mitad del anillo posee una densidad uniforme de carga y la otra mitad una densidad uniforme pero cuyo valor es el doble de la anterior.

10.a- Dibuja y justifica la ubicación de las cargas sobre el anillo, caracterizar el material donde se hallan las cargas y realizar una representación mediante líneas de campo eléctrico.

10.b- Evalúa el campo eléctrico en el centro del anillo y a distancias muy alejadas del mismo.

**11-** Se dispara un electrón en una región del espacio (¿cómo puede hacerse?) donde se tiene: i- Un campo eléctrico es uniforme; luego ii- Un campo eléctrico no es uniforme.

11.a- Describe y justifica mediante las leyes de la mecánica qué ocurrirá con dicha carga eléctrica.

11.b- Cómo cambia la respuesta anterior si la carga es una partícula  $\alpha$ .

**12-** Se coloca un dipolo eléctrico en una región del espacio donde: i- el campo eléctrico es uniforme; luego ii- el campo eléctrico no es uniforme.

Describe y justifica mediante las leyes de la mecánica qué ocurrirá con dicho dipolo eléctrico.

**13-** Se tiene un cuerpo cargado y sin ningún otro cuerpo en la vecindad.

A partir de conocer la formulación de la ley de Gauss se desea:

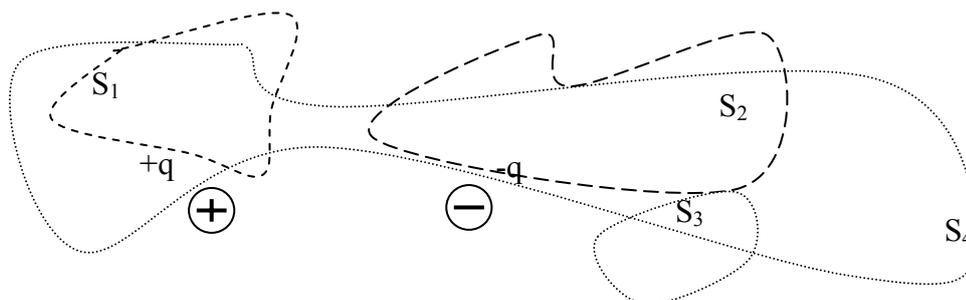
13.a- Calcula el flujo eléctrico a través de diferentes superficies cerradas que engloban la carga eléctrica (cubo, esfera, cilindros etc.)

13.b- Evalúa la posibilidad de calcular el flujo en alguna de las superficies (o caras) que integran las superficies adoptadas previamente.

12.c- Analiza la posibilidad de calcular el campo eléctrico a partir del conocimiento del flujo calculado en el punto a.

**14-** Un dipolo eléctrico (moléculas de agua, clorhídrico, dióxido de carbono) puede modelizarse como dos cargas puntuales de igual valor pero signo contrario separada cierta distancia.

Obtener el flujo eléctrico a través de las superficies cerradas (definen un volumen)  $S_1 S_2 S_3 S_4$



**15-** Una placa conductora aislada de área  $5000\text{cm}^2$  se carga con  $200\text{nC}$

15.a- Describe y justifica la distribución de cargas y dibujar las líneas de campo eléctrico alrededor de la placa plana

15.b- Calcula el campo eléctrico en la cercanía de la placa.

**16-** Si se dispone de una placa aislante de igual dimensiones que el problema anterior y se carga sobre una sola superficie con igual cantidad de cargas eléctricas,

16.a-Realiza una representación del campo eléctrico en las inmediaciones de la lámina cargada.

16.b- calcula el E en la cercanía de la lámina

**17-** A la placa del problema 7 se le acerca otra lámina de igual característica (forma, dimensiones y propiedades eléctricas) hasta una distancia que sea la milésima parte de uno de sus lados, estando la misma conectada a tierra.

17.a-Realiza una representación gráfica el fenómeno descrito, justificando la configuración espacial de cargas en las placas.

17.b- Calcula el campo eléctrico entre y fuera de las placas y lejos de los bordes.

**18-** Se tiene una configuración espacial de cargas con simetría cilíndrica desde el eje z hasta un radio  $r_0$  de  $2\text{cm}$  donde  $\rho = a \cdot r^2$ , siendo "ρ" la densidad

---

volumétrica de cargas , "a" una constante y r la distancia perpendicular al eje "z".

18.a-Realiza una representación esquemática de las cargas eléctricas y de las líneas de campo eléctrico alrededor de dicha configuración.

18.b- Deduce la expresión del campo eléctrico desde  $r=0$  hasta distancias muy lejanas al cilindro.

**19-** Se tiene una esfera cargada uniformemente de radio  $r_0 = 1\text{cm}$  con densidad de carga  $2 \cdot 10^{-10}\text{C/m}^2$  . Por otro lado se tiene otra esfera metálica cargado de radio  $10 r_0$  y espesor  $r_0/10$  que se coloca alrededor de la esfera pequeña. La densidad superficial de cargas de la esfera mayor es de  $-2 \cdot 10^{-6}\text{C/m}^2$  (cuando se halla aislada)

19.a-Realiza una representación del campo eléctrico mediante las líneas de campo cuando las esferas se hallan aisladas y cuando se halla una en el interior de la otra.

19.b-Qué carga (magnitud y signo) le colocarías a la esfera de mayor radio, para que fuera de la misma el campo eléctrico sea nulo.

**20-** Se tienen dos esferas conductoras cargadas con  $700\text{pC}$  una de ellas de  $1\text{cm}$  de radio y otra de  $20\text{cm}$  de radio muy distante entre si. Luego se coloca la más pequeña en el interior de la más grande

20.a- Realiza una representación de las líneas de campo eléctrico para las configuraciones descritas

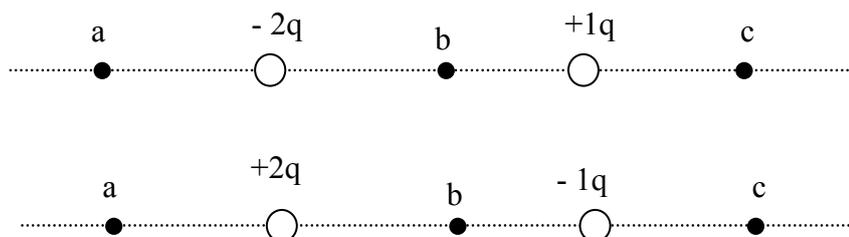
20.b- Calcula el campo eléctrico sobre la superficie de cada una de ellas, cuando están muy separadas y cuando se hallan en forma concéntricas.

20.c- Calcula las expresiones del campo eléctrico en función del radio cuando se halla una en el interior de la otra

20.d- Explica que sucedería si la esfera de menor tamaño toca la cara interior de la de mayor tamaño.

### CUESTIONES

1- Se tienen dos cargas puntuales una es el doble de magnitud de la otra y de signos diferentes tal como muestra las figuras.



1.a- Analiza en cuál o cuales de los puntos ubicados sobre una línea recta que une las dos cargas (a,b,c) podría anularse la fuerza ejercida sobre otra partícula cargada?

1.b- Analiza el tipo de equilibrio que experimenta la tercer carga colocada en el punto donde se anula la fuerza.

1.c- Realiza una representación del campo eléctrico en el plano de la figura y otra con vista lateral.

2- Se tienen cuatro partículas cargadas  $Q$  idénticas y ubicadas en los vértices de un cuadrado de lado "a". Luego se agregan otras cuatro idénticas a las anteriores conformando un cubo de lado "a".

2.a- Debes analizar en qué puntos colocarías una carga de prueba de modo que la fuerza resultante sobre la misma sea nula.

2.b- Analiza el tipo de equilibrio que experimenta la carga de prueba.

2.c- Realiza una representación del campo eléctrico mediante el trazado de líneas de campo eléctrico y describiéndolas como también justificando sus formas.

3- Se tienen cuatro partículas cargadas idénticas dos de ellas positivas y las otras dos negativas y ubicadas en los vértices de un cuadrado de lado "a".

---

3.a- Debes analizar en qué puntos colocaría un carga de prueba de modo que la fuerza resultante sobre la misma sea nula.

3.b- Analiza el tipo de equilibrio que experimenta la carga de prueba.

3.c- Realiza una representación del campo eléctrico mediante el trazado de líneas de campo eléctrico y describiéndolas como también justificando sus formas.

4-A las cuatro partículas cargadas del problema anterior se agregan otras cuatro idénticas conformando un cubo de lado "a".

4.a- Debes analizar en qué puntos colocaría un carga de prueba de modo que la fuerza resultante sobre la misma sea nula.

4.b- Analiza el tipo de equilibrio que experimenta la carga de prueba.

4.c- Realiza una representación del campo eléctrico mediante el trazado de líneas de campo eléctrico y describiéndolas como también justificando sus formas.

5-Se tiene un dipolo eléctrico cuyas cargas son +e y -e y cuya separación es "a". Se desea atraer una tercer carga eléctrica: +e y ubicarla a una distancia de "2a" sobre la línea que une las cargas del dipolo.

5.a- Calcula el trabajo que debe realizar una fuerza externa para posicionar la tercer carga en el sitio deseado.

5.b- Calcula la energía potencial eléctrica total que posee la configuración deseada con las tres cargas eléctricas en los sitios enunciados.

5.c- Compara los resultados de las respuestas de las preguntas 1 y 2 y saca conclusiones al respecto.

6-¿Es posible que un cuerpo cargado atraiga a :

6.a- Un conductor próximo sin carga neta?

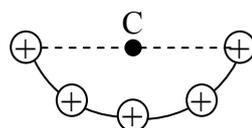
6.b- Un conductor cargado?

6.c- Un aislante descargado?

6.d- Un aislante cargado?

7-Cinco cargas puntuales ( $Q = 10^{-10}$  C) están igualmente distribuidas en un semicírculo de radio  $R = 10$  cm.

7.a-Calcula el campo eléctrico en el centro del semicírculo (C).



Si la magnitud  $5Q$  se hallase esparcida uniformemente sobre un alambre delgado de igual radio al anterior,

7.b-Calcula el campo eléctrico en el centro del semicírculo (C) y obtiene la diferencia porcentual según la configuración discreta y la continua.

8-Dos esferas conductoras de 5 y 10 cm de diámetro se hallan separadas una distancia muy grande, si las cargas de las mismas son  $-2,50 \cdot 10^{-8}$  C y  $5,00 \cdot 10^{-8}$  C.

8.a-Determina la diferencia de potencial eléctrico entre ambas.

8.b-Explica que sucedería si mediante un conductor se conectan las esferas. Describe los fenómenos puestos en juego.

8.c-Calcula el nuevo potencial eléctrico y la carga que poseen cada una de las esferas para la nueva situación.

9-Dos placas planas grandes cargadas con cargas de signos distintos generan un campo uniforme. Una partícula cargada de masa 0,1 g. y carga  $3 \cdot 10^{-9}$  C atada a un péndulo se ubica en la proximidad de una placa desviándose  $20^\circ$  de la vertical permaneciendo en equilibrio, determina:

9.a-El valor del campo eléctrico

9.b-La diferencia de potencial entre las placas y la capacidad si las áreas son de  $0,25$  m<sup>2</sup> y se hallan separadas 10 cm.

9.c-La energía eléctrica capaz de almacenar.

## ANEXO VI

### GUÍA DE TRABAJO PRÁCTICO DE SIMULACIÓN

Estudio del campo eléctrico y el potencial eléctrico generado por cargas eléctricas en reposo (electrostática) en particular su representación y propiedades asociadas a dicha configuración.

-Representación, determinación e interpretación del campo y potencial eléctrico de cargas puntuales (distribuidas en forma discreta).

-Principio de superposición para el cálculo del campo y potencial eléctrico.

-Cálculo del campo eléctrico y del potencial de diversas configuraciones de distribuciones de cargas.

-Conceptos y propiedades de líneas de campo y superficies equipotenciales.

-Relaciones entre las líneas de  $\mathbf{E}$  y las superficies equipotenciales.

#### A- Objetivos de la actividad

El diseño de la guía didáctica que se implementó para acompañar al simulador posibilita:

a) Comprender el papel que juega el campo eléctrico como nueva interpretación de la interacción eléctrica.

b) Corroborar que la magnitud «intensidad de campo» sólo depende de la distancia y de la carga generadora del campo.

c) Aplicar el modelo en el cálculo de la «intensidad de campo» para una carga puntual y distribuciones de cargas puntuales.

e) Interpretar las representaciones del potencial eléctrico y su variación espacial.

f) Visualizar el modelo de propagación en el medio donde se produce la interacción eléctrica.

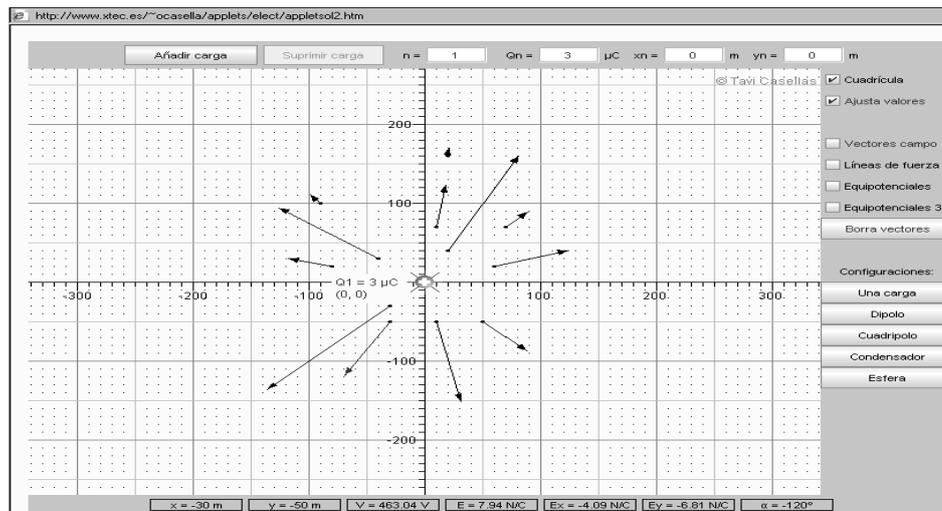
Estos ítems implican: aplicar y afianzar conocimientos desarrollados en clases teóricas y de resolución de problemas.

d) Comprender la representación gráfica del campo eléctrico a través de las líneas de campo y aplicarlo al estudio cuantitativo del mismo.

## B- Actividades propuestas

### B<sub>1</sub> -Acercamiento al entorno

a) Instalar y ejecutar el programa de simulación, y observar la pantalla que aparece por defecto como muestra la Figura 1.



**Figura 1:** Pantalla de trabajo del programa de simulación

b) Seleccionar y ubicar cargas en el área de trabajo. Reconocer las distintas funciones y opciones del menú de pantalla de trabajo. Probar las mismas variando los modos de operación y parámetros que posibilita el sistema, (signos y valor de la/s carga/s eléctrica, ubicación, representación de las funciones, elección de diversas configuraciones de cargas).

c) Registrar algunas de las presentaciones gráficas de la simulación con la tecla "Impr Pant" y pegar luego en una hoja para su edición.

### B<sub>2</sub>. Representación del campo eléctrico mediante vectores o líneas de campo eléctrico.

a) Seleccionar 1, 2, 6 y 9 cargas o algún tipo de configuración preestablecida por el simulador. Obtenga las representaciones en el tablero haciendo click con el mouse en el área de trabajo.

b) Seleccionar la representación mediante: vectores o líneas de campo, para cada configuración de cargas realizada.

c) Destacar las características de las representaciones - vectores o líneas de campo- y describir las ventajas y desventajas de las mismas. Figuras.2 y 3.

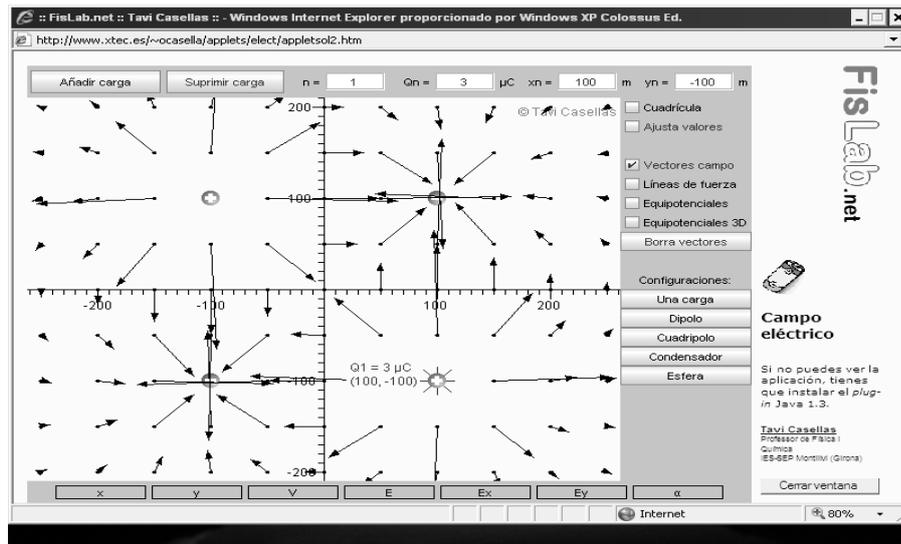


Figura 2. Representación del campo eléctrico de un cuadrupolo por medio de los "vectores de campo"

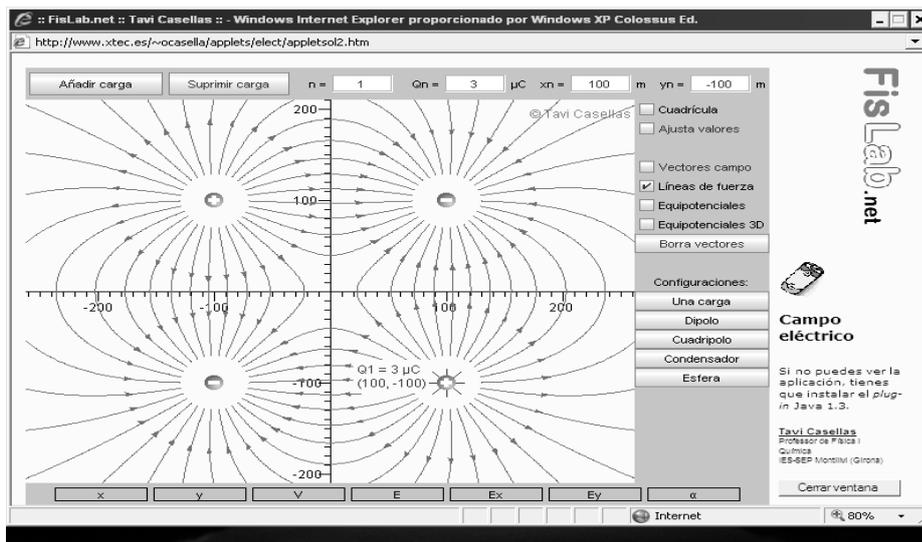


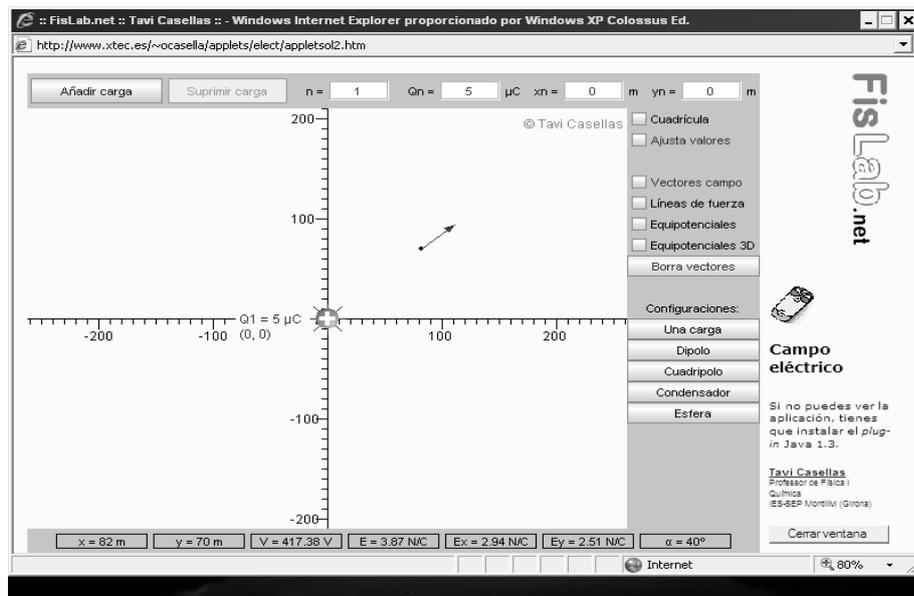
Figura 3: Representación del campo eléctrico de un cuadrupolo por "líneas del fuerza"

### B<sub>3</sub>- Análisis del campo eléctrico generado por cargas puntuales.

Es posible observar el vector campo eléctrico generado por una o varias cargas puntuales en diferentes puntos del tablero y obtener sus valores (mostrados en la barra inferior) haciendo un click en diferentes puntos Fig.4.

Para obtener una representación pictórica del campo eléctrico correspondiente al área donde se ubican las cargas, puede emplear las funciones: "vectores de campo" y "líneas de fuerza" de la barra lateral.

- a) Ubicar una carga puntual en el tablero y haciendo un click en la pantalla, el simulador calculará los valores de campo y potencial eléctrico para diferentes posiciones seleccionadas. Registrar dichos valores y confeccionar un gráfico de  $E = f(r)$  y  $V = f(r)$ , ¿Responde la gráfica de las funciones analíticas que interpretan dichas magnitudes?



**Figura 4:** Gráfica y cálculo analítico del vector campo eléctrico originado en un punto del espacio por la presencia de una carga puntual.

- b) Ubicar dos cargas de igual magnitud del mismo y diferente signo (puede utilizar la opción que provee la barra lateral donde posibilita la configuración

“dipolo”). Luego ubicar dos cargas eléctricas de diferentes valores. Registrar las gráficas y los valores obtenidos (Tabla 1) para luego analizar e interpretar en base a las propiedades de los campos y potencial eléctrico.

**Tabla 1:** información proporcionada por la barra inferior del simulador para cualquiera las configuraciones bipolares

Grafica	x (m)	y (m)	V (volt)	E (N/Cb)	E <sub>x</sub> (N/Cb)	E <sub>y</sub> (N/Cb)	α (°)
1							
2							

- c) Describir las propiedades de las líneas de campo eléctrico para cada configuración, y obtener la representación del campo correspondiente.
- d) Identificar y justificar posibles puntos o zonas donde el campo eléctrico y/o el potencial eléctrico sean nulo.

#### **B<sub>4</sub>- Representación de regiones equipotenciales**

Estudiar y analizar las formas y el tipo de representación del potencial eléctrico (mediante diferentes colores según el signo -azul para los potenciales positivos y rojo para los negativos- y diferentes gradaciones de color para los distintos valores de potencial). La referencia de potencial nulo es el blanco.

Generar diferentes configuraciones espaciales de cargas y analizar la distribución de las líneas de campo eléctrico, la representación de las líneas equipotenciales (separación de zonas de diferentes intensidades de color) y

analizar la relación entre ambas. La graduación indica la intensidad y la posición respecto al plano horizontal (potencial nulo) el signo (Fig. 5).

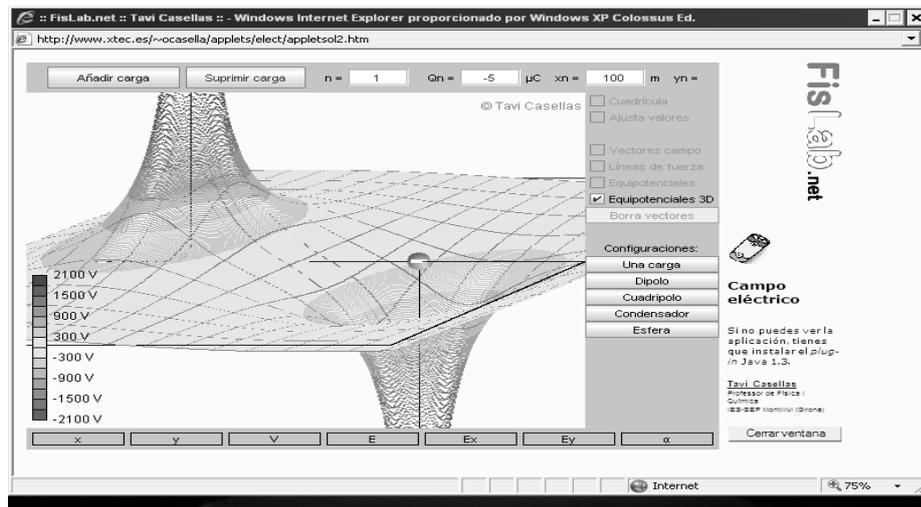


Figura 5: Representación de las superficies equipotenciales 3D.