

UNIVERSIDAD DE BURGOS

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

Departamento de Didácticas Específicas



**EL APRENDIZAJE DEL CONCEPTO DE CAMPO
EN FÍSICA: CONCEPTUALIZACIÓN,
PROGRESIVIDAD Y DOMINIO**

TESIS DOCTORAL

ALFONSO LLANCAQUEO HENRÍQUEZ

Burgos, julio de 2006

PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Departamento de Didácticas Específicas



Universidad de Burgos



**Universidade Federal
do Rio Grande do Sul**

EL APRENDIZAJE DEL CONCEPTO DE CAMPO EN FÍSICA: CONCEPTUALIZACIÓN, PROGRESIVIDAD Y DOMINIO

ALFONSO LLANCAQUEO HENRÍQUEZ

Tesis Doctoral realizada por **D. Alfonso Llancaqueo Henríquez**, para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Burgos, bajo la dirección de la **Dra. M^a Concesa Caballero** y la codirección del **Dr. Marco Antonio Moreira**.

Burgos, julio de 2006.

*Dedicada a Paula, mi compa#era
de viaje y de sue#os.*

Agradecimientos

Mi agradecimiento y gratitud a todas las personas e instituciones que durante estos años han participado de una manera u otra en la culminación de este trabajo:

A mi directora, Dra. Concesa Caballero, quién aceptó guiar esta tesis y darme la posibilidad de estudiar en el tema del aprendizaje de conceptos de Física, por su permanente interés y disposición para orientar, criticar y sugerir desde perspectivas teóricas y metodológicas, por su respaldo y amistad.

A mi codirector, Dr. Marco Antonio Moreira, por su guía, sugerencias y orientaciones teóricas rigurosas, iluminadoras y oportunas.

A Paula por sus importantes aportes y comentarios en la revisión del manuscrito de esta tesis. A Lucio por la revisión del manuscrito.

A la Universidad de La Frontera, su Facultad de Ingeniería Ciencias y Administración y el Departamento de Ciencias Físicas, que me han facilitado la movilidad y recursos necesarios para el desarrollo de mis estudios y labor investigadora. A los estudiantes que aceptaron generosamente ser participantes en los estudios, y a mis colegas, compañeros del curso de Electricidad y Magnetismo.

A mis compañeros, amigas y amigos de mis estadías en Burgos y en Madrid, con quienes compartí incontables momentos de cafés y copas, de conversaciones de apoyo y gran amistad. Gracias a todos por esos momentos inolvidables, Claudia, Rodrigo, Monse, Ermila, Sylvia, Fabiola, Cesar, Fernando...

Mi gratitud sin medida a mi familia por su apoyo y estímulo incondicional. Gracias Víctor, Mireya, Constanza, Víctor Eduardo, Mónica, Rosa, Cecilia, por acompañarme de muchas formas a cumplir este anhelo.

Todo el proceso de elaboración de este trabajo está ligado al amor de Paula, mi inspiración, mi apoyo y refugio en estas mil jornadas, mi compañera de viaje y de sueños.

La fortaleza de los conceptos científicos radica en su carácter consciente y deliberado. La de los conceptos espontáneos, por el contrario, en lo relativo a las situaciones, lo empírico y práctico. Ambos sistemas conceptuales, que se desarrollan desde arriba y desde abajo, revelan su verdadera naturaleza en las relaciones entre el desarrollo real y la zona de desarrollo próximo. (Vygotsky, 1995, pp. 184.)

ÍNDICE

Pág.

Resumen

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: EL APRENDIZAJE DE CONCEPTOS CIENTÍFICOS.....	11
1.1. Teorías cognitivas del aprendizaje aplicadas a la enseñanza de las ciencias.....	11
1.1.1 Teoría del desarrollo cognitivo de Jean Piaget.....	12
1.1.2 Teoría de la mediación de Lev Vygotsky.....	16
1.1.3 Teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel.....	21
1.2. Teorías psicológicas sobre formación de conceptos.....	29
1.2.1 Modelo clásico.....	30
1.2.2 Teoría prototípica o probabilística.....	32
1.2.3 Teoría/teoría y esencialismo.....	35
1.2.4 Teorías neoclásicas.....	38
1.2.5 Atomismo conceptual.....	39
1.3. Teoría de los campos conceptuales de Gerard Vergnaud.....	41
1.3.1 Situación y Esquema.....	43
1.3.2 Concepto-en-acción y teorema-en-acción.....	44
1.3.3 Conceptos.....	44
1.4. Resumen.....	46
CAPÍTULO 2: INVESTIGACIÓN EDUCATIVA SOBRE EL CONCEPTO DE CAMPO EN FÍSICA.....	49
2.1. Investigaciones sobre estrategias de enseñanza	49
2.2. Investigaciones sobre dificultades de aprendizaje.....	50
2.3. Investigaciones sobre representaciones mentales.....	51
2.4. Investigaciones sobre concepciones y razonamiento.....	51
2.5. Conclusiones.....	52
2.6. Aprendizaje y enseñanza de conceptos científicos.....	60
CAPÍTULO 3: OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA.....	64
3.1. Objetivos generales.....	64
3.2. Objetivos específicos.....	65
3.3. Hipótesis.....	66
3.4. Justificación del diseño.....	67
3.4.1 Campo conceptual del concepto de campo en Física.....	67
3.5. Diseño.....	70
3.5.1 Descripción y objetivos de la asignatura <i>Electricidad y Magnetismo</i>	70
3.5.2 Contenidos de la asignatura y campo conceptual.....	71
3.5.3 Organización de la enseñanza.....	73

3.5.4.	Recogida de datos y eventos de investigación.....	73
3.6.	Método.....	74
3.6.1.	Participantes.....	74
3.6.2.	Materiales e Instrumentos.....	75
3.6.3.	Procedimiento.....	77
3.6.4.	Análisis de los datos.....	77

CAPÍTULO 4: ESTUDIO 1: CONCEPTUALIZACIÓN INICIAL EN EL CAMPO CONCEPTUAL..... 81

4.1.	Método.....	81
4.1.1.	Participantes.....	81
4.1.2.	Instrumento.....	82
4.1.3.	Procedimiento.....	82
4.1.4.	Análisis de datos.....	83
4.2.	Resultados.....	84
4.2.1.	Análisis y discusión del desempeño según las categorías.....	85
4.2.1.1.	Clasificación.....	85
4.2.1.2.	Expresión escrita.....	88
4.2.1.3.	Representación.....	91
4.2.1.4.	Operación.....	91
4.2.1.5.	Resolución.....	93
4.2.2.	Desempeño en las categorías según conceptos.....	94
4.2.3.	Desempeño en las categorías según contenido de las situaciones....	96
4.2.4.	Niveles de conceptualización en el concepto de campo.....	98
4.3.	Conclusiones del Estudio 1.....	102

CAPÍTULO 5: ESTUDIO 2: AVANCES EN EL DOMINIO DEL CAMPO CONCEPTUAL..... 104

5.1	Método.....	105
5.1.1.	Participantes.....	105
5.1.2.	Instrumento.....	105
5.1.3.	Procedimiento.....	106
5.1.4.	Análisis de datos.....	106
5.2.	Resultados.....	107
5.2.1.	Análisis y discusión del desempeño según las categorías.....	108
5.2.1.1.	Clasificación.....	108
5.2.1.2.	Expresión escrita.....	109
5.2.1.3.	Representación.....	111
5.2.1.4.	Operación.....	112
5.2.1.5.	Resolución.....	112
5.2.2.	Desempeño en las categorías según conceptos.....	113
5.2.3.	Desempeño en las categorías según contenido de las situaciones....	116
5.2.4.	Niveles de conceptualización en el concepto de campo.....	117
5.3.	Conclusiones del Estudio 2.....	119

CAPÍTULO 6: ESTUDIO 3: AVANCES EN EL DOMINIO DEL CAMPO CONCEPTUAL EN UN PERIODO DE ENSEÑANZA.....	122
6.1. Método.....	123
6.1.1. Participantes.....	123
6.1.2. Materiales.....	124
6.1.3. Procedimiento.....	124
6.1.4. Análisis de datos.....	124
6.2. Resultados.....	125
6.2.1. Análisis y discusión del desempeño según las categorías.....	126
6.2.1.1. Clasificación.....	126
6.2.1.2. Expresión escrita.....	128
6.2.1.3. Representación.....	129
6.2.1.4. Operación.....	130
6.2.1.5. Resolución.....	130
6.2.2. Desempeño en las categorías según conceptos.....	132
6.2.3. Desempeño en las categorías según contenido de las situaciones....	134
6.2.4. Niveles de conceptualización en el concepto de campo.....	136
6.3. Conclusiones del Estudio 3.....	139
 CAPÍTULO 7: ESTUDIO 4: DOMINIO DEL CAMPO CONCEPTUAL.....	 141
7.1. Método.....	142
7.1.1. Participantes.....	142
7.1.2. Instrumento.....	142
7.1.3. Procedimiento.....	142
7.1.4. Análisis de datos.....	143
7.2. Resultados.....	144
7.2.1. Análisis y discusión del desempeño según las categorías.....	144
7.2.1.1. Clasificación.....	145
7.2.1.2. Expresión escrita.....	147
7.2.1.3. Representación.....	149
7.2.1.4. Operación.....	151
7.2.1.5. Resolución.....	152
7.2.2. Desempeño en las categorías según conceptos.....	153
7.2.3. Desempeño en las categorías según contenido de las situaciones....	156
7.2.4. Niveles de conceptualización en el concepto de campo.....	159
7.3. Conclusiones del Estudio 4.....	161
 CAPÍTULO 8: ESTUDIO 5: APRENDIZAJE DEL CAMPO CONCEPTUAL DESDE LA FISICA.....	 164
8.1. Método.....	165
8.1.1. Participantes.....	165
8.1.2. Instrumento.....	165
8.1.3. Procedimiento.....	165
8.1.4. Base de datos.....	165
8.1.5. Análisis de los datos	166
8.2. Resultados.....	167

8.2.1.	Análisis y discusión del desempeño.....	167
8.2.1.1.	Prueba No. 1.....	167
8.2.1.2.	Prueba No. 2.....	170
8.2.1.3.	Prueba No. 3.....	172
8.2.1.4.	Prueba No. 4.....	174
8.2.2.	Clasificación jerárquica de los ítems según desempeño.....	176
8.2.3.	Grados de aprendizaje y comprensión del campo conceptual.....	178
8.3.	Conclusiones del Estudio 5.....	180
CAPÍTULO 9. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES.....		182
9.1.	Progresión del proceso de conceptualización.....	183
9.2.	Niveles de conceptualización en el campo conceptual.....	193
9.3.	Conclusiones.....	201
9.4.	Implicaciones prácticas de los resultados.....	204
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		208
ANEXOS.....		215
ANEXO 1: <i>Cuestionario 1</i>		215
ANEXO 2: <i>Materiales Taller 1</i>		223
ANEXO 3: <i>Materiales Taller</i>		225
ANEXO 4: <i>Cuestionario 2</i>		228
ANEXO 5: <i>Prueba N° 1</i>		235
ANEXO 6: <i>Prueba N° 2</i>		240
ANEXO 7: <i>Prueba N° 3</i>		245
ANEXO 8: <i>Prueba N° 4</i>		250

INTRODUCCIÓN

La educación en ciencias plantea como propósito principal, que los estudiantes logren compartir significados que les permitan interpretar el mundo desde un punto de vista científico. De este modo, se generan nuevas capacidades representacionales que posibilitan nuevas formas de conocimiento, las que a su vez, permiten distanciarse de la inmediatez de los conocimientos intuitivos; así, los estudiantes adquieren estructuras conceptuales que dan consistencia a sus conceptos intuitivos y espontáneos (Moreira, 1998; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Pozo y Rodrigo, 2001).

Lo anterior, es fundamental para el desarrollo cognitivo de los estudiantes, en el sentido de avanzar en el proceso de aprendizaje de conceptos, que va desde la formación de categorías basadas en la similaridad de rasgos característicos a la formación de categorías en base a unos pocos atributos abstractos -conceptos científicos-. En palabras de Vygotsky la importancia de los conceptos científicos se puede resumir como sigue:

“Los conceptos científicos, con su sistema jerárquico de interrelación, parece ser el medio en que se desarrollan primero la conciencia y el dominio, para trasladarse después a otros conceptos y a otras áreas del pensamiento. La conciencia reflexiva le llega al niño a través del portón de los conocimientos científicos” (Vygotsky, 1995, p.169).

La adquisición e internalización de conceptos científicos es posible debido a la mediación facilitada por el lenguaje, los signos y las estructuras simbólicas construidas por las diferentes disciplinas científicas.

En el caso particular de la Física, como bien sabemos, durante mucho tiempo no hubo una trama que diera a esta disciplina una unidad conceptual. A principios del siglo XIX, la Física estaba organizada en varias ramas, un tanto desconectadas pero asociadas a algún tipo de experiencia sensorial, como mecánica, calor, óptica, acústica, y posteriormente, se agregó el electromagnetismo, rama que no presenta conexión sensorial aparente. Sin embargo, con el transcurso del tiempo fueron surgiendo conceptos como energía y campo que contribuyeron gradualmente a dar unidad conceptual a la Física.

En la actualidad, es posible distinguir un marco conceptual para la Física, basado en unos pocos conceptos básicos como partículas, campos, ondas e interacciones que resumen un paradigma para el mundo físico, que integra todas las ramas de la Física en todos sus niveles (micro y macro física, baja y altas energías) en una estructura coherente

y armónica. Así, al nivel microscópico el modelo conceptual unificador para el universo de la Física está basado en las siguientes suposiciones: i) El universo está compuesto de unidades distinguibles o partículas, cada una con propiedades bien definidas; ii) Sólo hay unas pocas interacciones fundamentales, aparentemente sólo cuatro; iii) Las interacciones se describen mediante campos, que en general dependen del tiempo y se propagan como ondas con velocidades bien definidas; iv) En todas las interacciones se conservan ciertas magnitudes físicas; v) Los principios de conservación están relacionados con ciertas simetrías observadas en el universo.

Por lo anterior, en la enseñanza de la Física, el aprendizaje significativo de conceptos científicos fundamentales y claves como el concepto de campo, es una condición necesaria para la formación científica de los estudiantes. El dominio de estos conceptos permite mejorar la comprensión de una gran variedad de fenómenos físicos, y además, conocer los principios que sustentan múltiples desarrollos tecnológicos, que se basan en el conocimiento construido por la Física, con aplicaciones en ámbitos tan diversos como la biología, medicina, materiales, comunicaciones, exploración espacial, procesamiento de imágenes, otras.

Además de lo anterior, los estudiantes pueden tener la posibilidad de acceder a un conocimiento de la Física distinto al saber cotidiano; éste se caracteriza por una visión continua y fenomenológica del mundo físico macroscópico, basada mayoritariamente en la experiencia sensorial, restringida al mundo que se percibe de manera directa, y que aleja a los estudiantes de la posibilidad de construir unidades conceptuales de la Física, con significados apropiados para una comprensión amplia de los fenómenos naturales, los que, en un nivel fundamental, son consecuencia de la estructura de la materia y la radiación, y que la Física explica mediante dos descripciones complementarias. Por una parte, haciendo uso del concepto de partículas como entes localizados (bolas, átomos, moléculas), y por otra, utilizando el concepto de campo, asociado a entidades extendidas (campo gravitacional, electromagnético, otros) incluidas las ondas (Alonso, 1998).

En consecuencia con lo anterior, y sin lugar a dudas, el concepto de campo es un concepto central de la Física que está presente en amplios dominios de la disciplina. Los significados de este concepto son múltiples y complejos, se ancla en el concepto matemático de función y es usado en diversas teorías de la física para describir el comportamiento de magnitudes, que se extienden en todo punto de una región del espacio y del tiempo. En Física clásica, el concepto de campo es fundamental para describir y explicar fenómenos electromagnéticos, gravitacionales y de transporte. En Física

contemporánea, se usa en las teorías de las partículas elementales en la elaboración de modelos que expliquen y unifiquen las fuerzas básicas de la naturaleza (Feynman, 1985); del mismo modo, en la teoría de la relatividad general, el concepto de campo es clave para describir lo físicamente real, en el sentido de que un campo representa y describe las cualidades físicas de los puntos del espacio y el tiempo (Einstein, 1995; Pauli, 1996).

Desde una perspectiva histórica de la Física, el concepto de campo surge en el siglo XIX, como una búsqueda de explicación de los fenómenos electromagnéticos. Aunque en esa época, existía una formulación de la teoría gravitacional en términos de campo gravitacional y potencial, desarrollada principalmente por Laplace y Poisson a finales del siglo XVIII, esta formulación parecía más bien un “dispositivo matemático” que una formulación que permitiese profundizar conceptos físicos (Slater y Frank, 1947). Se puede afirmar que Faraday, fue el iniciador de un abordaje teórico verdaderamente alternativo basado en el concepto de campo, que rechazaba la idea de acción a distancia para abordar las fuerzas electromagnéticas. Sin embargo, fue Maxwell en 1855, quién decidió dar un cuerpo matemático a las concepciones de Faraday, elaborando un programa de investigación basado en este supuesto ontológico nuevo: una acción física, en particular la electromagnética, se transmite continuamente por el espacio y tiempo, mediatizada por el campo y no se ejerce a distancia, según era el supuesto ontológico de la teoría de la mecánica de Newton, que dominaba la imagen de naturaleza de esa época (Berkson, 1981; Harman, 1990).

Para construir una teoría basada en estos nuevos supuestos, Maxwell desarrolla y consolida un importante movimiento metodológico y una actitud epistemológica para la investigación en física, basado en el uso conjunto de tres métodos: la analogía entre dominios de la física, el método hipotético deductivo y el método analítico. Consolida sus investigaciones en 1868, con la introducción de una teoría para los campos eléctricos y magnéticos sintetizada en cuatro ecuaciones para dichos campos, construyendo así, la primera teoría en la historia y desarrollo de la Física, en la cual la idea del concepto de campo adquiere significación física. Esta idea se funda en la afirmación que una carga eléctrica está rodeada por un campo eléctrico que se extiende hasta el infinito, y que el movimiento de una carga eléctrica da origen además, a un campo magnético que también tiene un alcance infinito. Ambos campos son magnitudes vectoriales definidas en cada punto del espacio y el tiempo.

Es importante destacar, que la teoría de Maxwell fue construida sobre las ideas de espacio y tiempo de la mecánica clásica, que describe la interacción entre partículas por

medio de los conceptos de fuerza, o de una energía potencial de interacción que aparece como una función de las coordenadas espaciales de las partículas interactuantes, y que supone una propagación instantánea de la interacción. De esta manera, las fuerzas entre partículas dependen sólo de las posiciones de éstas en un instante de tiempo, de modo que un cambio en la posición de cualquiera de las partículas en interacción afecta inmediatamente a las otras partículas. Sin embargo, los resultados de mediciones experimentales mostraron que no existen interacciones instantáneas en la naturaleza, por lo tanto, una mecánica basada en el supuesto de la propagación instantánea de las interacciones no era del todo correcta.

La teoría de la relatividad considera el hecho experimental que si en un cuerpo en interacción ocurre un cambio, éste influirá sobre los otros cuerpos después que haya transcurrido un intervalo de tiempo. Esto implica que existe una velocidad de propagación de la interacción, que determina el tiempo que transcurre desde el instante en que un cuerpo experimenta un cambio y comienza a manifestarse en otro (Landau y Lifshitz, 1992; Slater y Frank, 1947). Del principio de la teoría la relatividad de Einstein, que considera fundamental este hecho experimental, se sigue que la velocidad de propagación de las interacciones es la misma en todos los sistemas de referencia inerciales (sistemas donde se cumple el principio de inercia de Newton) e igual a $c = 2,99793 \times 10^8$ m/s, que a su vez es la velocidad de propagación de la luz en el vacío.

La teoría de la relatividad mantiene la idea de Maxwell, que la interacción mutua entre partículas se puede describir mediante el concepto de campo de fuerzas, es decir, en vez de hablar de la acción de una partícula sobre otra, afirma que una partícula crea un campo en torno de ella, entonces, una fuerza determinada actúa sobre cada una de las otras partículas situadas en ese campo. En la mecánica clásica, el campo es un modo de describir un fenómeno físico, en cambio en la teoría de la relatividad, debido al valor finito de la velocidad de propagación de las interacciones, las fuerzas que actúan sobre una partícula en un instante no están determinadas por las posiciones de las demás en el mismo instante. Un cambio en la posición de una de las partículas afecta a las otras después de transcurrido un cierto tiempo; esto hace que en relatividad el propio campo adquiera realidad física. En consecuencia, no se puede hablar de una interacción directa entre partículas colocadas las unas de las otras a cierta distancia, sino se debe hablar, de la interacción de una partícula con el campo y de la posterior interacción del campo con otra partícula (Landau y Lifshitz, 1992; Einstein, 1995).

Los antecedentes expuestos anteriormente, muestran la relevancia que tiene el concepto de campo, y de ello se deriva la importancia del aprendizaje significativo del mismo por parte de los estudiantes. Esta necesidad no se restringe sólo a niveles universitarios, también es preciso introducir el aprendizaje del concepto de campo en niveles educativos secundarios, pues éste proporciona una estructura conceptual más general que permite integrar otros conceptos de la Física, facilitando el aprendizaje de los mismos. Por ejemplo, la comprensión de conceptos como temperatura y presión, se facilitaría si los estudiantes aprenden a analizar desde la estructura conceptual del concepto de campo, situaciones del mundo natural que se presentan extendidas en el espacio y el tiempo.

Por este motivo, el concepto de campo está presente en el currículo de ciencias de muchos sistemas educativos y su enseñanza se expresa en los objetivos y contenidos de la mayoría de los programas curriculares de enseñanza de la Física. Por ejemplo, en el Programa curricular del 2º año de Bachillerato de la asignatura de “Física” de España, en la p. 226, de entre los objetivos se destaca: “1. Comprender los principales conceptos de la Física y su articulación en leyes, teorías y modelos; 2. Valorar el papel que desempeña la Física en el desarrollo tecnológico y social”, y en la sección de los contenidos, en las p. 227-228, el concepto de campo aparece incluido en dos unidades del Programa. En la “Unidad 1. Interacción gravitatoria; y en la Unidad 3. Interacción electromagnética”.

De manera similar, en el curriculum para la Educación Media de Chile, en el subsector curricular de Ciencias Naturales: Física (Ministerio de Educación República de Chile, 2005). En la p. 156 para el 4º año se leen dos objetivos fundamentales que se refieren al concepto de campo: “... Los alumnos y alumnas desarrollarán capacidad de: 1. Aplicar a un nivel elemental las nociones físicas de campo eléctrico y campo magnético y sus relaciones para comprender la enorme variedad de fenómenos de la vida diaria que depende de ellos; 3. Apreciar la complejidad y eficacia del conocimiento científico; reconocer sus aporte a la interpretación del mundo y al desarrollo de nuevas tecnologías. Reconocer el impacto que ha tenido, en sus aspectos positivos y negativos, sobre la forma de vida contemporánea...”. En la sección de Contenidos Mínimos p. 156-157, cuatro unidades corresponden a electricidad y magnetismo, donde los conceptos de campo eléctrico y campo magnético son los conceptos fundamentales.

No obstante, la relevancia del aprendizaje de conceptos científicos y los esfuerzos realizados por acercar la cultura científica a un mayor número de ciudadanos, a través de la prolongación de la educación científica obligatoria y su promoción en la educación

informal (museos, revistas de divulgación, documentales de televisión, etc.), los datos de las investigaciones, la percepción de los profesores y las actitudes de los estudiantes muestran que la educación científica encuentra dificultades en la consecución de sus objetivos, pues los resultados obtenidos por los estudiantes reflejan un escaso aprendizaje de los significados de los conceptos científicos (Pozo, 2002).

Frente a este problema, en el ámbito de la investigación de la educación en ciencias han surgido una serie de estudios que intentan explicar dificultades en la enseñanza y en el aprendizaje de conceptos científicos. Respecto a la baja calidad de los aprendizajes, diversas investigaciones señalan que la práctica pedagógica tradicional derivada de un enfoque conductista del aprendizaje, restringe la posibilidad que los estudiantes alcancen niveles de aprendizajes significativos para las distintas asignaturas del currículo; esto se manifiesta claramente en la enseñanza de la Física, donde las prácticas instruccionales han permeado el curriculum promoviendo con ello sólo un aprendizaje de tipo memorístico.

Los enfoques actuales de la investigación en educación en ciencias y la concepción constructivista del aprendizaje y enseñanza de las ciencias, señalan la importancia de conocer y describir el proceso mediante el cual los estudiantes construyen los conceptos científicos. Para ello es necesario investigar específicamente el tipo de representaciones que construyen, los procesos cognitivos que conducen a un aprendizaje significativo, la comprensión de los significados de los conceptos científicos; lo anterior, permitiría conocer los cambios cognitivos o de desarrollo conceptual -entendido como una construcción y discriminación de significados- y guiar el diseño de modelos de enseñanza que permitan un mejor aprendizaje del conocimiento científico (Pozo, 1999; Moreira, 2000; Caballero, 2004).

En el caso del concepto de campo en Física, las investigaciones se han centrado en el aprendizaje y la enseñanza del campo electromagnético y gravitatorio con estudiantes secundarios y primer nivel de universidad. Una serie de artículos publicados en la última década, clasifica el aporte de estos trabajos en cuatro categorías: estrategias de enseñanza; concepciones y razonamiento; representaciones mentales y dificultades de aprendizaje (Llancaqueo y otros, 2003a). Los resultados de esta revisión bibliográfica se presentan y discuten con mayor extensión en el capítulo siguiente.

En términos generales, los resultados de los estudios sobre estrategias de enseñanza (Furió y Guisasola, 2001; Martín y Solbes, 2001; Viennot y Rainson, 1999) muestran que el diseño de estrategias de enseñanza basadas en un modelo de enseñanza/aprendizaje de investigación orientada, que enfatizan los aspectos causales mejoran la comprensión

conceptual; esto por la característica del modelo, de articular los aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales del aprendizaje del conocimiento científico (Gil y Carrascosa, 1985; Gil, 1993; Furió 2001), a diferencia del enfoque de las concepciones alternativas que centra su atención, ante todo, en la adquisición del conocimiento conceptual y el cambio conceptual (Driver y otros, 1985; Moreira, 1994; Marín, 1999; Di Sessa y Sherin, 1998; Pozo, 1999).

Por otra parte, los resultados de los estudios sobre concepciones y razonamiento (Viennot y Rainson, 1992; Palmer, 2002), señalan que las principales características de las explicaciones dadas por los estudiantes se basan en un razonamiento causal lineal, y además, evidencian la coexistencia de concepciones alternativas y científicas. Las investigaciones sobre representaciones mentales (Greca y Moreira, 1997; 1998; Borges y Gilbert, 1998), confirman que los modelos mentales construidos por los estudiantes son producto de la instrucción recibida y de sus conocimientos previos del mundo físico. Por último, las investigaciones referidas a dificultades de aprendizaje (Furió y Guisasola, 1998a, 1998b; Galili, 1995; Martín y Solbes, 2001), señalan que los estudiantes no establecen diferencias conceptuales, por ejemplo, entre fuerza y campo eléctrico. Además identifican que la enseñanza del concepto de campo eléctrico, a partir exclusivamente de su definición operacional afecta su comprensión conceptual.

Tanto los resultados de estas investigaciones, como la complejidad y amplitud de los significados del concepto de campo, muestran la necesidad por conocer las relaciones existentes entre la estructura formal de este concepto y la estructura conceptual que poseen los estudiantes; lo cual permitiría un mejor conocimiento y comprensión de los procesos cognitivos que conducen a un aprendizaje de los significados del concepto. Además esto permitiría también identificar los elementos que facilitan y obstaculizan su aprendizaje. Así a partir de la construcción de tal conocimiento, se podrían definir criterios para la elaboración de diseños de enseñanza, que faciliten en los estudiantes el desarrollo conceptual y progresividad del aprendizaje significativo del concepto en acuerdo con las demandas del curriculum.

Para alcanzar lo expuesto anteriormente, se percibe la necesidad de obtener datos del proceso de aprendizaje del concepto de campo y usar un referencial teórico que facilite y permita abordar los vínculos entre la estructura formal del conocimiento del concepto y la estructura conceptual de los estudiantes. Con este propósito, se realizó una revisión y estudio crítico de los principales referenciales teóricos construidos por la psicología cognitiva, usados en la investigación de educación en ciencias. En particular, un conjunto

de teorías cognitivas de aprendizaje aplicadas a la educación en ciencias, y teorías psicológicas sobre representación y adquisición de conceptos usadas en el ámbito del aprendizaje y enseñanza de conceptos científicos. Los resultados de esta revisión y estudio de antecedentes teóricos y empíricos se presentan en el Capítulo II de esta tesis.

A partir de los resultados de este estudio, se adoptó usar como referencial teórico para el desarrollo de la investigación de esta tesis, la Teoría de campos conceptuales de Vergnaud (Vergnaud, 1981, 1983, 1990, 1993, 1994, 1996, 1998), por su potencialidad para investigar procesos de aprendizaje significativo de conceptos científicos y para interpretar la conceptualización de los mismos (Caballero, 2004). En esta teoría, el conocimiento se organiza en campos conceptuales referidos a un conjunto de situaciones y problemas; que para su análisis y tratamiento se requiere del uso de diversas clases de conceptos, representaciones simbólicas, operaciones de pensamiento y procedimientos que se conectan entre sí durante su aprendizaje (Vergnaud, 1981; 1990). La exposición detallada de estos conceptos se presenta en el capítulo siguiente.

La revisión bibliográfica de resultados de investigaciones en educación en ciencias, sobre el aprendizaje y enseñanza del concepto de campo en física, y primeros resultados del uso de la teoría de campo conceptuales en el diseño una metodología de investigación en tema se concretó en el trabajo para la obtención del “Diploma de estudios avanzados” (DEA), presentado en el 2003 en la Universidad de Burgos bajo el título “El concepto de campo en el aprendizaje de la Física: un estudio exploratorio a la luz de la teoría de Vergnaud” (Llancaqueo, 2003). Este trabajo supone el principio de un estudio más amplio y sus conclusiones han desembocado en los objetivos de la tesis que nos ocupa. De hecho, a lo largo de las siguientes páginas haremos referencias a este trabajo exploratorio. Al mismo tiempo, supone la primera aproximación teórica a este tema con estudiantes de un curso de Física y, además, concreta una metodología de estudio determinada y válida para responder las interrogantes que nos planteamos en esta tesis.

La memoria de tesis que presentamos se estructura en dos partes. La primera está dedicada a la revisión teórica de los trabajos dedicados a objetivos similares a los nuestros. En particular, se presenta la *Teoría de los campos conceptuales* de Vergnaud como una opción para investigar y, a partir de esto, diseñar las opciones metodológicas más adecuadas para cumplir con nuestros objetivos. En la segunda parte, de carácter empírica, presentaremos todo lo que concierne al trabajo realizado dando cuenta de los cinco estudios que conforman esta investigación.

Así, en el Capítulo 1, se presenta una revisión de antecedentes teóricos que recogen las principales aportaciones de las propuestas conceptuales sobre el aprendizaje de conceptos científicos. En primer término, se hace referencia a las principales teorías cognitivas de aprendizaje y desarrollo, actualmente en uso en la educación en ciencias, presentando las aportaciones teóricas desarrolladas por Piaget, Vygotsky y Ausubel. Seguidamente, se presenta una síntesis de las características fundamentales de un conjunto de teorías psicológicas de formación de conceptos. A continuación, se presenta la *Teoría de campos conceptuales* de Gerard Vergnaud, por su potencialidad para establecer vínculos entre la estructura formal del concepto de campo y la estructura conceptual que poseen los estudiantes que se enfrentan con el aprendizaje de dicho concepto.

A continuación, en el Capítulo 2 se presenta una revisión detallada de un conjunto de investigaciones realizadas en el ámbito de la educación en ciencias, acerca del aprendizaje y enseñanza del concepto de campo en Física; específicamente, estos trabajos se refieren a estrategias de enseñanza, dificultades de aprendizaje, representaciones mentales y concepciones y razonamiento. Además, se comentan y discuten las aportaciones empíricas y teóricas de estas investigaciones y su relación con el aprendizaje y enseñanza de los conceptos científicos.

A partir de aquí, en el Capítulo 3 podremos definir con precisión nuestros objetivos generales y también los específicos, establecer las hipótesis y predicciones iniciales. Además, presentar el planeamiento general de la investigación y justificar el diseño de investigación utilizado, aplicando la *Teoría de los campos conceptuales* al concepto de campo. Para ello, se describe en términos generales el campo conceptual de la Física, y de manera específica, el campo conceptual del concepto de campo aplicado a la asignatura *Electricidad y Magnetismo*. Es importante señalar que este es uno de los principales capítulos de esta memoria, pues la manera en que abordemos nuestro problema de estudio condicionará los resultados que obtengamos y sobre todo, sus conclusiones e interpretaciones.

Los siguientes cinco capítulos estarán dedicados a la exposición de los principales resultados. Los capítulos 4, 5, 6 y 7 muestran los resultados de cuatro estudios que exploran la progresividad del aprendizaje del concepto de campo. Así, en el capítulo 4 se describe el conocimiento y niveles de conceptualización inicial del concepto de campo, por parte de los estudiantes participantes de la investigación, al inicio del curso de "*Electricidad y Magnetismo*". Luego, los capítulos 5 y 6 corresponden a los resultados de dos estudios intermedios en los que se buscaba determinar y caracterizar avances en el

proceso de conceptualización del campo conceptual del concepto de campo, luego de dos actos de mediación, al inicio del proceso enseñanza/aprendizaje (Estudio 2), y después de realizada la *Primera Prueba Parcial* de la asignatura *Electricidad y Magnetismo* (Estudio 3). Posteriormente, en el capítulo 7 se presentan los avances obtenidos por los estudiantes en la conceptualización del concepto de campo al final del periodo de instrucción.

Por último, en el quinto capítulo de resultados, en el capítulo 8, damos cuenta del estudio 5 de esta tesis, que permitió identificar y caracterizar significados de los contenidos de Física del campo conceptual del concepto de campo aprendidos por los estudiantes; además, se pudo evaluar la factibilidad de usar los resultados de los cuatro estudios anteriores como referencia para complementar la descripción del proceso de conceptualización, con los significados específicos de la Física.

La memoria de tesis finaliza con un capítulo 9 de conclusiones, donde retomamos los principales resultados de los capítulos 4, 5, 6, 7 y 8 en relación con los objetivos definidos en el capítulo 3. Es decir, intentaremos responder, en la medida de lo posible, a las interrogantes formuladas tras la revisión crítica de los estudios sobre el aprendizaje del concepto de campo. Finalmente, como veremos en este último capítulo, los resultados de este trabajo empírico permiten continuar la investigación en esta línea y seguir formulando nuevas o modificadas cuestiones teóricas. Por otra parte, los resultados también permiten aplicaciones para determinar criterios para el diseño y evaluación de propuestas didácticas que faciliten el aprendizaje de este concepto clave de la Física. En resumen, los esbozos de esta continuación cerrarán la presentación de esta memoria e incluirán las perspectivas futuras más interesantes y relevantes. En definitiva, el trabajo que a continuación presentamos supone una nueva aproximación a las preguntas sobre la relación o vínculos entre la estructura cognitiva de los estudiantes y la estructura de los conceptos científicos.

CAPÍTULO 1

EL APRENDIZAJE DE CONCEPTOS CIENTÍFICOS

La revisión de antecedentes teóricos que se presentan a continuación, recogen las principales aportaciones de las propuestas conceptuales sobre el aprendizaje de conceptos científicos. En primer término, se hace referencia a las principales teorías cognitivas de aprendizaje y desarrollo actualmente en uso en la educación en ciencias, presentando las aportaciones teóricas desarrolladas por Piaget, Vygotsky y Ausubel. Seguidamente, se presenta una síntesis de las características fundamentales de un conjunto de teorías psicológicas de formación de conceptos. A continuación, se presenta la *Teoría de campos conceptuales* de Gerard Vergnaud, por su potencialidad para establecer vínculos entre la estructura formal del concepto de campo y la estructura conceptual que poseen los estudiantes.

1.1. TEORÍAS COGNITIVAS DEL APRENDIZAJE APLICADAS A LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La gran mayoría de los trabajos realizados en el ámbito de la investigación de la enseñanza de las ciencias, se enmarcan dentro de las aportaciones teóricas provenientes del llamado enfoque constructivista, destacando especialmente las teorías desarrolladas por Piaget, Vygotski y Ausubel, cuyos conceptos centrales recordaremos en el siguiente apartado.

Antes de realizar lo anterior, es necesario precisar algunas características generales que definen el enfoque constructivista para entender cual es la concepción de la construcción del conocimiento que manejan estos autores.

El constructivismo es una postura psicológica y filosófica, cuyo supuesto básico se puede resumir en la idea de que los individuos son participantes activos y que deben construir el conocimiento. El grado en el que cada autor adhiere esta afirmación es variable; algunos constructivistas sostienen que las estructuras mentales reflejan la realidad, mientras otros piensan que no existe ninguna realidad fuera del mundo mental del individuo. También, difieren en su visión de la contribución de la mediación de profesores, compañeros y otros, en la construcción del conocimiento de un individuo. Estas diferencias

presentes en este paradigma, se han agrupado en tres tipos de constructivismo (Schunk, 1997). El constructivismo exógeno, sostiene que la adquisición del conocimiento consiste en la reconstrucción del mundo externo, que influye en las opiniones por medio de experiencias, exposición a modelos y enseñanza; el conocimiento es tan preciso como reflejo de la realidad exterior. El constructivismo endógeno, considera que el conocimiento proviene de conocimiento ya adquirido y no directamente de las interacciones con el medio; no es un espejo del mundo exterior, sino que se desarrolla por medio de la abstracción cognoscitiva. Por último, el constructivismo dialéctico apoya la idea de que el conocimiento proviene de las interacciones de los individuos y su entorno; las construcciones no están ligadas invariablemente al mundo externo ni son puras elaboraciones de la mente, sino que reflejan las consecuencias de las contradicciones mentales que resultan de las interacciones con el medio.

1.1.1. TEORÍA DEL DESARROLLO COGNITIVO DE JEAN PIAGET

En términos muy generales, se puede plantear que Piaget, asumiendo una postura constructivista del tipo endógena, plantea que el conocimiento no se adquiere solamente por internalización del entorno social, sino que predomina la construcción que realiza la propia persona.

Piaget (1936) elaboró un modelo teórico que describe cómo los seres humanos dan sentido al mundo asimilando y organizando la información. Así, se plantea que la interacción de factores de maduración biológica, actividad y experiencias sociales, influyen sobre los cambios que experimenta el pensamiento a lo largo del ciclo vital.

La maduración biológica, se refiere al desarrollo de los cambios biológicos que se encuentran programados genéticamente; en este aspecto del desarrollo cognoscitivo, padres y profesores tienen poca influencia. La actividad, producto de la maduración física, aumenta la capacidad de actuar en el entorno y aprender de éste, mediante la ejecución de actividades, que permiten organizar la información permitiendo la posibilidad de alterar los procesos de pensamiento. Las experiencias sociales, desempeñan un papel importante en la transmisión social del conocimiento que una cultura ofrece, y la cantidad de conocimiento que se puede aprender por transmisión social varía con la etapa de desarrollo cognoscitivo.

Para dar cuenta de las transformaciones que van teniendo las estructuras cognitivas, Piaget (1971) plantea que los seres vivos presentan dos tendencias básicas o funciones invariantes, a saber: la organización y la adaptación.

La organización se relaciona con la tendencia a organizar el pensamiento en estructuras psicológicas, las que constituyen sus sistemas para comprender e interactuar con el mundo. Las estructuras más simples se combinan y coordinan, en forma continúa, dando lugar a otras estructuras más complejas y más efectivas para comprender el mundo. Estas estructuras psicológicas son los esquemas, definidos como los elementos básicos de construcción del pensamiento y que deben entenderse como sistemas organizados de acciones o pensamiento, que permiten representar mentalmente los objetos y eventos del mundo. Los esquemas pueden ser muy reducidos y específicos, por ejemplo el esquema de reconocer una rosa, o ser más extensos o generales como categorizar flores.

Por otra parte, la adaptación se refiere a la tendencia de las personas a adaptarse al entorno, y en ella participan dos procesos básicos, asimilación y acomodación. El primero de ellos, se refiere a la adaptación de nueva información en esquemas preexistentes, adecuados para su comprensión. Es decir, cuando una persona se enfrenta a una situación nueva, tratará de manejarla basándose en los esquemas que ya posee y sean apropiados para esa situación. Como resultado el esquema no cambia sustancialmente en su naturaleza, sino que se amplía para aplicarse a nuevas situaciones. Por ejemplo, frente a un texto desconocido, mientras una persona lo lee, nota aspectos que le recuerdan un cuento infantil, tales como motivos simples, personajes animales, un desenlace feliz. Entonces la persona leerá el texto interpretándolo como un cuento infantil y no como una novela, una noticia o una carta, o tal vez, el lenguaje le puede parecer complejo para un cuento infantil. Frente a esta situación puede suceder que la persona use su esquema de cuento infantil para aplicarlo también a textos más complejos. En tal caso, no se ha creado un nuevo esquema, sino se ha usado uno anterior para comprender la nueva información (Arancibia y otros, 1997).

Por otra parte, la acomodación al contrario de la asimilación, produce cambios esenciales en los esquemas; éstos se modifican para incorporar información nueva, que no es comprensible con los esquemas existentes. En el ejemplo mencionado en el párrafo anterior, podría suceder que la persona desarrolle un nuevo esquema, por ejemplo algo similar al concepto de fábula, para entender el texto, ya que no le satisface comprenderlo como un cuento infantil. La acomodación de su cognición a la situación genera un nuevo esquema (Arancibia y otros, 1997). En consecuencia, estos dos procesos permiten que los

esquemas de una persona se mantengan adaptados al ambiente, permitiendo su continuo crecimiento. Cuando una persona aprende, ésta modifica activamente sus esquemas a través de experiencias o transfiriendo esquemas existentes a situaciones nuevas. Por lo tanto, el aprendizaje depende de lo que la persona ya posee. Para Piaget, el aprendizaje es lo que las personas hacen de los estímulos y no lo que los estímulos hacen con ellos.

El concepto central de la teoría de Piaget que articula los procesos de asimilación y acomodación, es el concepto de equilibrio. En este modelo teórico los cambios en el pensamiento ocurren a través del proceso de equilibrio como la búsqueda de un balance; Piaget (1978) suponía que las personas prueban de manera continua la suficiencia de sus procesos de pensamiento para lograr dicho balance. Si una persona aplica un esquema particular a un evento o situación y éste funciona, entonces hay equilibrio. Por el contrario si se produce un resultado insatisfactorio, hay desequilibrio, la persona se siente incómoda, esto la motiva a buscar una solución mediante la asimilación y la acomodación, por lo tanto, su pensamiento cambia y progresa. Con el fin de mantener un equilibrio entre sus esquemas para comprender el mundo y los datos que este proporciona, las personas asimilan continuamente nueva información utilizando sus esquemas y acomodan su pensamiento, cuando los intentos para asimilar son infructuosos se generan desequilibrio.

El último aspecto de la teoría piagetiana que quisiéramos recordar es la idea de que el desarrollo cognitivo se sucede en estadios, destacando cuatro grandes etapas: sensorio motriz, preoperacional, operacional concreto y operacional formal. Así, cada estadio supone la existencia de un sistema de pensamiento cualitativamente diferente al anterior, que lleva asociada una transformación en la forma de pensar con respecto a la etapa anterior. Otra característica importante, es que cada niño pasa cada etapa en forma continua, sin saltar ninguna de ellas. Según Piaget, las etapas de desarrollo siguen una secuencia invariante, los niños no pueden modificar la rapidez de paso de una etapa a otra, pues necesitan una cierta cantidad de experiencias y el tiempo suficiente para internalizar dichas experiencias antes que se produzca el paso a la etapa siguiente. Los estadios no existen en forma pura, siempre se manifiestan elementos de las etapas anteriores y siguientes. O sea, aunque existen actividades que definen cada etapa, en un niño se observan también elementos de otras etapas (Sprinthall y otros, 1996).

Lo más importante de la noción de estadio es que no existen los tipos puros. Prácticamente es imposible, con excepción de la etapa sensoriomotriz, encontrar a un niño con todas las características que definen a cada etapa. Lo que se encuentra son tendencias de aprendizaje consistentes con una etapa determinada. Muchos investigadores posteriores

a Piaget, han llegado a resultados que corroboran hipótesis que en las primeras etapas coexisten formas de pensamiento básicas con otras más avanzadas, produciéndose solapamientos. En consecuencia, es necesario tener presente, que las etapas lejos de ser contradictorias, ayudan a profundizar la comprensión sobre el desarrollo. En cada estadio, el niño posee estructuras de pensamiento que le permiten comprender la realidad, pero al mismo tiempo, también posee algunas formas de pensamiento propias de etapas anteriores y posteriores (Sprinthall y otros, 1996).

También la teoría piagetiana ha planteado cuestiones importantes en relación a la enseñanza, en el sentido que el mismo Piaget sostenía, que se puede aprender mucho de la forma de pensar de un niño, al escuchar y observar sus maneras de resolver problemas. Afirmaba que, si se comprende el pensamiento de los niños, se tendrá una mayor capacidad de adoptar métodos de enseñanzas acordes con las características de los niños.

Una importante implicación de la teoría de Piaget para la enseñanza, es lo que denomina el problema del ajuste. Los estudiantes no deben aburrirse con un trabajo que es muy simple ni retrasarse con una enseñanza que no comprenden. El desequilibrio debe mantenerse en un punto justo para alentar el crecimiento. Si se proponen situaciones que llevan a errores puede ayudar a crear un nivel apropiado de desequilibrio, que lleve a los estudiantes a experimentar algún conflicto entre lo que piensan que debería suceder y lo que en realidad sucede. De este modo los estudiantes pueden reconsiderar su comprensión y construir nuevos conocimientos (Woolfolk, 1996).

Lo fundamental en la teoría de Piaget es que las personas crean su propio conocimiento, el aprendizaje es un proceso constructivo. El profesor debe procurar que en todos los niveles de desarrollo cognitivo los estudiantes participen en forma activa en el proceso de aprendizaje, siendo capaces de incorporar la información que se les presente en sus propios esquemas de asimilación. Para esto, se debe actuar sobre la información. La enseñanza debe ofrecer a los estudiantes la oportunidad de experimentar el mundo.

Otro aporte importante de la teoría de Piaget, es la habilidad de aplicar en nuevas situaciones lo que se aprendió en otra situación. Si se aplica este principio, los estudiantes obtendrán práctica en su utilización. Si este principio no funciona, se producirá desequilibrio y tal vez, desarrollen nuevas aptitudes de pensamiento. Por otra parte, los estudiantes necesitan interactuar con profesores y compañeros para probar su pensamiento, ser desafiados, recibir retroalimentación y observar como otros solucionan problemas. El desequilibrio se activa de manera natural, cuando un profesor u otro estudiante sugieren nuevas formas de pensar respecto de algo. Las experiencias concretas proporcionan

materias primas para el pensamiento. En resumen, la teoría de Piaget, apunta hacia la búsqueda de respuestas a la pregunta de si es posible acelerar el desarrollo cognoscitivo.

1.1.2. TEORÍA DE LA MEDIACIÓN DE LEV VYGOTSKY

Una de los principales aportes de Vygotsky a la psicología, fue el considerar la importancia de las actividades con significado social en la conciencia. Pretendía una explicación de los procesos mentales superiores (pensamiento, lenguaje, comportamiento voluntario) desde una óptica nueva, abandonando las explicaciones de los estados de conciencia, y rechazando las explicaciones conductistas de las acciones; este autor, buscaba una región intermedia que explicara la influencia del medio social en la conciencia.

En este sentido, y de acuerdo a esta teoría el medio social es crucial para el aprendizaje; éste se produce por la integración de factores sociales y personales. La actividad social ayuda a explicar los cambios en la conciencia que unifican la conducta y la mente. El entorno social influye en la cognición por medio de sus instrumentos y signos, es decir, sus objetos culturales, su lenguaje e instituciones sociales. Para Vygotsky el desarrollo cognitivo es el resultado de utilizar los instrumentos y signos en interrelaciones sociales y de internalizarlas y transformarlas mentalmente. Su postura es de un constructivismo dialéctico por su énfasis en la interacción de los individuos y su entorno (Schunk, 1997).

El núcleo de la estructura teórica de Vygotsky se puede resumir en: a) la creencia en el método genético-experimental o evolutivo; b) la tesis de que los procesos mentales superiores tienen su origen en procesos sociales y 3) la tesis de que los procesos mentales pueden entenderse sólo mediante la comprensión de los instrumentos y signos que actúan de mediadores. Estos temas sólo pueden comprenderse a través de sus interrelaciones mutuas. Es decir, la noción del origen de los procesos mentales apunta hacia un análisis genético, y la explicación de la interacción social y de los procesos mentales depende de las formas de mediación que se hallan implicadas en ellos. La originalidad de Vygotsky está en la forma en que estos tres temas se interdefinen (Wertsch, 1995).

Una de las contribuciones más originales e importantes de Vygotsky es el concepto de mediación. En su época, otros autores habían planteado la necesidad de utilizar el análisis genético en el estudio de la mente y habían aportado argumentos para considerar el

origen social de la actividad mental, pero fue Vygotsky quién definió y amplió estas ideas introduciendo la noción de mediación mediante el uso de instrumentos y signos (Vygotsky, 1979).

Como ya hemos señalado, el desarrollo cognitivo es la conversión de relaciones sociales en funciones mentales, sin embargo, esta conversión no es directa, sino mediada por el uso de instrumentos y signos. Un instrumento es algo que puede ser usado para hacer algo, y un signo es algo que significa alguna cosa. Se distinguen tres tipos de signos: indicadores, que son aquellos que tienen una relación de causa y efecto con lo que significan, icónicos son imágenes de aquello que significan y simbólicos, son los que tienen una relación abstracta con lo que significan, por ejemplo las palabras son signos lingüísticos, los números son signos matemáticos, el lenguaje y la matemática son sistemas de signos (Vygotsky, 1979).

Para Vygotsky, los instrumentos y signos son construcciones sociales, históricas y culturales, y a través de su internalización, vía mediación social, la persona se desarrolla cognitivamente. A partir de esta base es posible comprender la ley del desarrollo de los procesos mentales superiores, denominada Ley de la doble formación. Vygotsky la definió así: “En el desarrollo cultural del niño, toda función aparece dos veces: en un primer tiempo, a nivel social, y en un segundo tiempo, a nivel individual; en un primer tiempo, entre personas (interpsicológica) y en un segundo tiempo (intrapsicológica). Esto puede aplicarse de la misma manera a la atención voluntaria, a la memoria lógica y a la formación de conceptos. Todas las funciones superiores encuentran su origen en las relaciones entre los seres humanos” (Riviére citando a Vygotsky, 1994).

Los procesos anteriormente aludidos, tienen lugar por así decirlo en la interacción social, entendida ésta como el intercambio entre sus participantes de experiencias y conocimientos en términos cualitativos y cuantitativos. Los niños, no crecen aislados, sino que interactúan con sus padres, con adultos de su familia, con otros niños. Es decir, no viven aislados, para Vygotsky esta interacción es fundamental para el desarrollo cognitivo y lingüístico de cualquier persona, aunque sus mecanismos son difíciles de describir (Vygotsky, 1995).

Relacionada con la interacción social está la adquisición de significados. Los significados de los signos, ya sean estas palabras o gestos se construyen socialmente y son contextuales. Mediante la interacción social los niños adquieren los significados socialmente compartidos de los signos y comienzan a internalizar los signos. O sea, para internalizar signos las personas tienen que captar los significados ya compartidos

socialmente, es decir, tienen que compartir significados ya aceptados en el contexto social en que se encuentra. La interacción social implica sobre todo un intercambio de significados que permite a los individuos verificar si el significado que captó para un signo que está reconstruyendo internamente es socialmente aceptado y compartido.

Por otra parte, para Vygotsky el lenguaje es el sistema de signos más importante para el desarrollo cognitivo de un niño, porque lo libera de los vínculos contextuales inmediatos. El desarrollo de los procesos mentales superiores depende de la descontextualización y el lenguaje a través de las palabras (signos lingüísticos), permite que un niño se aparte cada vez más de un contexto concreto. El lenguaje flexibiliza el pensamiento conceptual y proposicional (Vygotsky, 1979).

Para Vygotsky, el desarrollo del habla en el lenguaje, es fundamental para el desarrollo cognitivo de un niño, al respecto afirma: “El momento más significativo en el curso del desarrollo intelectual, que da a luz las formas más puramente humanas de la inteligencia práctica y abstracta, es cuando el lenguaje y la actividad práctica, dos líneas de desarrollo completamente independiente, convergen. Aunque durante su periodo preverbal, el uso que el pequeño hace de los instrumentos sea comparable al de los monos, tan pronto como el lenguaje hace su aparición junto con el empleo de los signos y se incorpora a cada acción, ésta se transforma y se organiza de acuerdo con directrices totalmente nuevas. El uso específicamente humano de las herramientas se realiza, pues, de este modo, avanzando más allá del uso limitado de instrumentos entre los animales superiores” (Vygotsky, 1979, p.47).

La inteligencia práctica se refiere al uso de instrumentos, y la abstracta al uso de signos. Aunque ambas se desarrollan separadamente en las primeras etapas de la vida, luego convergen. Esta convergencia se manifiesta en un niño cuando comienza a hablar, mientras resuelve un problema práctico. Para Vygotsky, el habla egocéntrica no refleja un pensamiento egocéntrico, como sostenía Piaget, sino representa el uso del lenguaje para mediar acciones. Para un niño el habla es tan importante como la acción. El habla y acción forman parte de una misma función psicológica compleja dirigida hacia la solución de un problema (Vygotsky, 1995). El habla egocéntrica en un comienzo es audible y comprensible para un observador externo, pero posteriormente se sumerge haciéndose inaudible, convirtiéndose en un instrumento interno de pensamiento. El carácter del lenguaje egocéntrico al hacerse cada vez más impenetrable e idiosincrásico, se acentúa entre los 3 y 7 años, las diferencias entre el lenguaje interpersonal y el intrapersonal son cada vez más resaltantes. Con el aislamiento progresivo del lenguaje para sí mismo, su

vocalización decía Vygotsky, ya no tiene razón de ser y carece de significación. Cuando más independiente y autónomo se vuelve el lenguaje egocéntrico, mas pobres son sus manifestaciones externas, se separa por completo del lenguaje destinado a los otros, deja de vocalizarse y parece desaparecer poco a poco (Vygotsky, 1995).

El programa de investigación de Vygotsky implicaba la realización de experimentos centrados en dos grandes aspectos: 1) la génesis y el desarrollo de las funciones superiores en el niño; y 2) la influencia de las variables transculturales sobre la naturaleza de los procesos cognitivos. La idea central de los experimentos sobre el desarrollo era poner en evidencia los procesos de construcción de las funciones in vivo, especialmente el rol de los instrumentos y de los signos en dicha construcción. Al igual que el rol de la mediación cultural, representada por el propio experimentador. Por otra parte, en los estudios transculturales, el principio guía era: Si las funciones tienen un origen cultural, entonces su propia naturaleza es variable, dependiendo de las características de la cultura de donde surgen (Riviére, 1994). A Vygotsky le interesaba investigar lo que hacen los niños, no las soluciones a las que podrían llegar, con énfasis en la cuantificación, propia de la investigación en la psicología científica de su época, coherente con la metodología de investigación experimental conductista (Vygotsky, 1995).

Vygotsky con sus colaboradores estudió experimentalmente el proceso de formación de conceptos. Sus conclusiones se expresan en la siguiente cita: "...el desarrollo de los procesos que al final acaban formando conceptos comienza en la más tierna infancia, pero las funciones intelectuales que, en una combinación específica, constituyen la base psicológica del proceso de la formación de conceptos sólo maduran, toman forma y se desarrollan al llegar a la pubertad. Antes de esa edad, encontramos ciertas formas intelectuales que realizan funciones similares a las de los auténticos conceptos venideros. Con respecto a su composición, estructura y funcionamiento, estos equivalentes funcionales de los conceptos se encuentran respecto a los conceptos auténticos en la misma relación que el embrión respecto al organismo plenamente formado..." (Vygotsky, 1995).

Los equivalentes funcionales que Vygotsky distingue son: 1) Agregación desorganizada o amontonamiento. Es el primer paso de un niño hacia la formación de concepto, consiste en el agrupamiento de algunos objetos desiguales de manera desorganizada, sin fundamento para solucionar un problema que un adulto resolvería con la formación de un concepto; 2) Pensamiento por complejos. Corresponde a la segunda fase, los objetos son agrupados no sólo por impresiones subjetivas, que tiene el niño de los objetos, sino debido a relaciones que de hecho existen entre éstos. En esta fase existe una

secuencia de estadios que ocurren en función de las relaciones establecidas entre los objetos. Estas son: de asociación ligada a los atributos, de colección, relacionada a atributos complementarios, en cadena hecha a partir de secuencias de atributos; 3) conceptos potenciales. Estos son una especie de abstracción primitiva, que no sucede en el estadio de los pseudoconceptos, ya que están presentes desde las fases iniciales de desarrollo de un niño. Estos conceptos no se pierden u olvidan fácilmente. No obstante, los verdaderos conceptos sólo aparecen cuando los rasgos abstraídos son sintetizados en forma abstracta pasando a ser el principal instrumento del pensamiento (Vygotsky, 1995).

Por otra parte, para Vygotsky el proceso del desarrollo de las funciones superiores consiste en la incorporación y la interiorización de instrumentos y signos de relación con los otros. Ello sólo es posible porque el niño vive en grupos y estructuras sociales, y porque puede aprender de los otros a través de su relación con ellos. Sin embargo, Vygotsky insistía que el aprendizaje se produce sólo cuando los instrumentos, los signos, los símbolos y las normas de los compañeros de interacción, pueden ser incorporados por el niño en función de su nivel de desarrollo previo, es decir, el aprendizaje depende también del desarrollo potencial del sujeto. Para definir la relación entre desarrollo del niño y aprendizaje, Vygotsky argumentaba, que no es suficiente establecer el nivel de desarrollo en términos de tareas o actividades que el niño es capaz de realizar por sí mismo, sino que es necesario determinar lo que es capaz de hacer con la ayuda de los otros. Vygotsky denomina zona de desarrollo próximo (ZDP) al conjunto de actividades que el niño es capaz de realizar con la ayuda, la cooperación o guía de otras personas. Diferenciaba la ZDP del nivel actual de desarrollo, el cual corresponde a ciclos evolutivos llevados a término y que se definen operacionalmente, como el conjunto de actividades que el niño es capaz de realizar por sí mismo sin la guía ni ayuda de otras personas (Riviére, 1994).

Vygotsky se refería al concepto de ZDP de la siguiente manera: "... la zona de desarrollo próxima. No es otra cosa que la distancia entre el nivel real del desarrollo, determinado por la capacidad de resolver independientemente un problema, y el nivel de desarrollo, potencial, determinado a través de la resolución de un problema bajo la guía de un adulto o en colaboración con otro compañero más capaz" (Vygotsky, 1979 p.133).

Para Vygotsky es más importante la medición del nivel de desarrollo potencial, que el nivel de desarrollo efectivo o real. Desde su visión, las prácticas más comunes hacían que "a la hora de determinar la edad mental de un niño con la ayuda de un test, de lo que casi siempre nos ocupamos es del nivel real de desarrollo" (Riviére citando a Vygotsky, 1994).

El concepto de ZDP es una síntesis de la concepción del desarrollo como apropiación e interiorización de instrumentos elaborados por los agentes culturales de interacción. La ZDP define las funciones que aún no han alcanzado la maduración, pero que están en tránsito de madurar (Riviére, 1994). Las ideas de Vygotsky tienen mucha importancia para la enseñanza. El concepto de ZDP ayuda a presentar una forma nueva de abordar la enseñanza para el logro de aprendizajes en los estudiantes. Para Vygotsky “el buen aprendizaje es solamente aquel que precede al desarrollo” (Riviére citando a Vygotsky, 1994). Una buena enseñanza es la que está por delante del desarrollo cognitivo y lo dirige. A su vez, un buen aprendizaje es aquel que está avanzando en relación con el desarrollo. Por lo tanto, un aprendizaje orientado en niveles de desarrollo ya alcanzados, no será efectivo para el desarrollo cognitivo de un estudiante (Vygotsky, 1979)

Por otra parte, la posibilidad de referirse a una ZDP, y no sólo al desarrollo actual, depende de una característica esencial del aprendizaje humano, que es su capacidad de entrañar procesos evolutivos que no son activos, sino en la situación de relación entre las personas. Esto permite abordar la pregunta, si el método genético-experimental permite una objetivación del desarrollo real, o si, poniendo más en juego los procesos de aprendizaje por influencia del experimentador (o profesor), se favorece la imagen de un desarrollo artificial. En cierto sentido el desarrollo de las funciones mentales superiores necesariamente es artificial. Es un artificio de la cultura y de la relación con los otros. El método propuesto por Vygotsky, sitúa el análisis de los procesos del desarrollo en la ZDP, puesta en evidencia por la influencia activa del experimentador (o profesor) y por el aprendizaje activo del aprendiz. Por lo tanto, el aprendizaje y la enseñanza por interacción social con los otros para Vygotsky es el factor fundamental del desarrollo (Riviére, 1994).

1.1.3. TEORÍA DEL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE DAVID AUSUBEL

David Ausubel propone una teoría cognitiva del aprendizaje. Para este autor, el aprendizaje es la organización e incorporación de información en la estructura cognitiva de las personas. Parte de la premisa que en la mente de una persona existe una estructura donde se integra y procesa la información. Por lo tanto, la estructura cognitiva de una persona es la forma como tiene organizado su conocimiento previo a la instrucción. Está

formada por sus creencias y conceptos, los cuales deben considerarse al planificar la enseñanza de manera que sirvan de anclaje para los conocimientos nuevos, en el caso de ser apropiados, o ser modificados por un proceso de cambio conceptual. La teoría de Ausubel centra su atención en el aprendizaje en aula. Para Ausubel, el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno conoce, como afirma:

“Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría este: de todos los factores que influyen en el aprendizaje, el más importante consiste en lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto, y enséñese consecuentemente” (Ausubel, 1976 p. 151).

Es decir, nuevas informaciones e ideas pueden ser aprendidas y retenidas, si existen conceptos claros e inclusivos en la estructura cognitiva del aprendiz, que sirvan para establecer relaciones con la nueva información.

El concepto central de la teoría de Ausubel es aprendizaje significativo. El aprendizaje significativo ocurre cuando la nueva información se relaciona con la ya existente en la estructura cognitiva de la persona que aprende. Es un proceso de interacción entre la información nueva y una estructura específica del conocimiento que posee el aprendiz, que Ausubel denomina subsumidor. Ausubel considera el almacenamiento de información en el cerebro como un proceso altamente organizado, con una jerarquía conceptual donde elementos más específicos del conocimiento se anclan en conocimientos más generales e inclusivos, por un proceso de asimilación. La estructura cognitiva para Ausubel, es una estructura jerárquica de conceptos fruto de la experiencia de la persona.

Además, Ausubel considera que el aprendizaje en el aula, puede situarse a lo largo de dos dimensiones independientes: aprendizaje mecánico (por repetición) – aprendizaje significativo; y aprendizaje por recepción – aprendizaje por descubrimiento. Al respecto Ausubel afirma: “... en realidad, los dos tipos de aprendizaje pueden ser significativos: 1) si el estudiante emplea una actitud de aprendizaje significativo (una disposición para relacionar de manera significativa el nuevo material de aprendizaje con su estructura existente de conocimiento); y 2) si la tarea de aprendizaje en sí, es potencialmente significativa (si consiste en sí de un material razonable o sensible y se puede relacionar de manera sustancial y no arbitraria con la estructura cognoscitiva del estudiante particular)” (Ausubel, 1976).

Así, esta teoría propone la distinción entre tres tipos de aprendizajes significativos: aprendizaje representacional, aprendizaje conceptual y aprendizaje proposicional.

El *Aprendizaje representacional*, es el tipo de aprendizaje significativo básico, del cual dependen los demás. En éste se asignan significados a determinados símbolos, por ejemplo palabras, o sea, se identifican los símbolos con sus referentes (objetos, eventos, conceptos) pasando éstos a significar para la persona lo que significan sus referentes. Es el aprendizaje más cercano al aprendizaje por repetición.

Por su parte, el *Aprendizaje conceptual* se refiere a los conceptos que representan regularidades de eventos u objetos. En consecuencia, el aprendizaje de conceptos, es en cierta forma un aprendizaje representacional, ya que los conceptos son también representados por símbolos o categorías y representan abstracciones de atributos esenciales de sus referentes.

Por último, el *Aprendizaje proposicional* tiene por objetivo aprender el significado de la proposición como un todo, es decir, la tarea no es aprender en forma aislada los significados de los diferentes conceptos que constituyen una proposición. Este aprendizaje, es opuesto al aprendizaje representacional, ya que no se trata de aprender significativamente lo que representan en forma aislada los conceptos.

Por otra parte, el aprendizaje significativo involucra la adquisición de nuevos significados, y recíprocamente, estos nuevos significados son producto del aprendizaje significativo. La esencia de este proceso reside en que las ideas expresadas en forma simbólica son relacionadas de modo no arbitrario y sustantiva con lo que una persona ya sabe (Ausubel, 1976).

Para que se produzca aprendizaje significativo, es necesario que el contenido a aprender tenga una potencialidad significativa lógica, o sea, que posea una cierta estructura interna relevante. Es decir, tener una organización clara de modo que pueda ser relacionado, de forma sustantiva y no arbitraria, a ideas que se sitúen dentro del dominio de la capacidad de la persona. Además, debe poseer una significatividad psicológica, esto se refiere al aprendiz y a la actitud favorable para aprender significativamente. El estudiante, debe ser capaz de relacionar los nuevos contenidos con los que ya conoce, debe poder asimilarlos en su estructura cognitiva construida en sus experiencias previas. Si un estudiante tiene una intención baja de relacionar el nuevo contenido con lo que ya conoce, sólo logrará un aprendizaje mecánico. En cambio, si su intención es alta, establecerá múltiples y variadas relaciones entre el nuevo conocimiento y lo que ya conoce. Que el aprendizaje resultante sea significativo, depende de la disposición del estudiante para aprender, y cómo el profesor guíe el proceso de enseñanza. La Tabla 1.1 muestra las relaciones entre el aprendizaje significativo, grado de significado potencial, grado de

significado lógico--capacidad del material de aprendizaje de enlazarse de una manera no arbitraria y sustancial con ideas correspondientes pertinentes que se encuentran dentro del ámbito de la capacidad de aprendizaje del ser humano-- y significado psicológico— significado fenomenológico idiosincrático --.

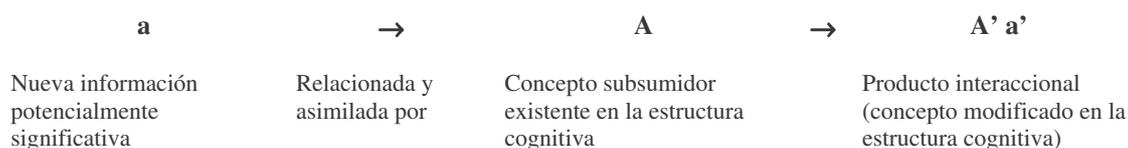
Tabla 1.1: Relaciones entre el aprendizaje significativo, grado de significado potencial, grado de significado lógico y significado psicológico.

A. Aprendizaje significativo o adquisición de significados	requieren	(1) Material potencialmente significativo	y	(2) Una actitud de aprendizaje significativa
B. Grado de significado potencial	depende de	(1) El <i>grado de significado lógico</i>	y	(2) La disponibilidad de estas ideas pertinentes en la estructura cognoscitiva del estudiante <i>en concreto</i>
C. Significado psicológico	es producto de	El aprendizaje significativo	o de	El significado potencial y la actitud de aprendizaje significativa

(Adaptado de Ausubel, 2002, p. 123).

Para explicar el proceso de adquisición de significados en la estructura cognitiva Ausubel, introduce la teoría de la asimilación. La asimilación es el proceso mediante el cual una nueva información, potencialmente significativa se enlaza con conceptos (subsumidores) existentes en la estructura cognitiva. Es un proceso dinámico en que tanto la nueva información, como el concepto o idea existente, se modifican de alguna forma en la estructura cognitiva. Ausubel (1976) utiliza la asimilación para explicar el proceso de aprendizaje y la retención de lo aprendido. La Figura 1.1 muestra dicho proceso.

Figura 1.1.: Proceso de aprendizaje y retención

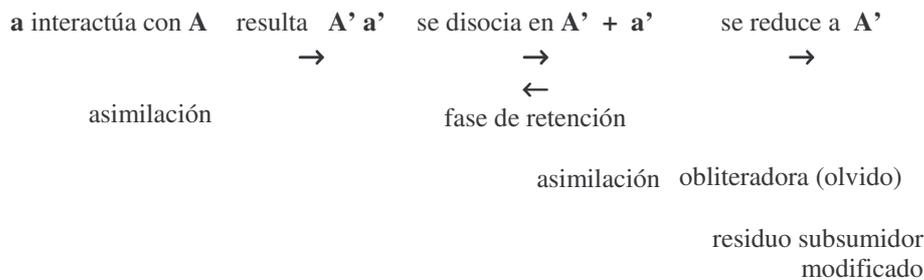


La asimilación es un proceso que ocurre cuando un concepto o proposición a, potencialmente significativa, es asimilada a una idea o concepto más inclusivo A, ya existente en la estructura cognitiva del estudiante, ya sea como un ejemplo, una extensión, una elaboración o una calificación del mismo concepto. El resultado de la asimilación es el producto interaccional A' a', que muestra, que no sólo se modifica la nueva información, sino que también, lo hace el concepto subsumidor existente en la estructura cognitiva (Ausubel, 1976).

Transcurrido un cierto tiempo, la nueva información aprendida a' , puede ser recordada casi en su forma original, pero ya no es dissociable del concepto al cual fue anclada. En este caso, se da la asimilación obliteradora, que no debe confundirse con el olvido, como en el caso del aprendizaje memorístico. Se trata que las nuevas informaciones se vuelvan menos separables de los subsumidores hasta que no son más reproducibles como unidades individuales, llegando a un grado de dissociabilidad nulo. El compuesto $A' a'$ se reduce simplemente a A' . En consecuencia, el olvido es consecuencia de la evolución del mismo proceso que facilita el aprendizaje y retención de nuevas informaciones (Ausubel, 1976).

Todo el proceso incluyendo la fase obliteradora, se representa esquemáticamente en la Figura 1.2.

Figura 1.2: Proceso de asimilación y retención



El núcleo de la teoría de la asimilación es que los nuevos significados son adquiridos mediante la interacción del conocimiento nuevo con los conceptos o proposiciones aprendidos previamente. El resultado de la interacción es el producto $A' a'$, donde tanto la nueva información a y el subsumidor A adquieren significados adicionales a' y A' . Durante la fase de retención el producto es separable en A' y a' . A medida que el proceso de asimilación continua, entra en una fase obliteradora y el $A' a'$ se reduce a A' , ocurriendo el olvido (Ausubel, 1976).

Otra distinción importante que propone la Teoría de Ausubel, es la diferenciación entre aprendizaje subordinado, aprendizaje superordenado y aprendizaje combinatorio; distinciones a las que nos referiremos a continuación.

El *aprendizaje subordinado*, se refiere al proceso por el cual la nueva información adquiere significado por interacción con los subsumidores, refleja una relación de subordinación de la nueva información con la estructura cognitiva previa. A este proceso Ausubel denomina *subsunción*. Como la estructura cognitiva, tiende a una organización jerárquica en relación a un nivel de abstracción, generalidad e inclusividad de las ideas, el

surgimiento de nuevos significados refleja una subordinación del nuevo conocimiento a la estructura cognitiva. Este tipo de aprendizaje recibe el nombre de aprendizaje subordinado. A su vez, el aprendizaje subordinado puede ser *subsunción* derivada o correlativa. En la *subsunción* derivada la nueva información *a1* se enlaza con una idea de orden superior *A* ya establecida en la estructura cognitiva y representa una extensión de esta sin que sus atributos característicos cambien, pero los nuevos ejemplos se reconocen como pertinentes. En la *subsunción* correlativa, una nueva información *b1* se enlaza con la idea *B*, pero es una extensión, modificación o matización de *B*. Los atributos del concepto subsumidor *B* se pueden extender o modificar con la nueva *subsunción* correlativa (Ausubel, 2002).

En el caso del *aprendizaje superordenado*, también es posible que la nueva información a ser aprendida *A*, sea más general e inclusiva con conceptos ya establecidos en la estructura cognitiva *a1*, *a2*, *a3*, que al interactuar con estos los asimilan. Estas ideas se reconocen como instancias más específicas de una nueva idea superordenada *A*, definida por un nuevo conjunto de atributos que comprende las ideas específicas. A este tipo de aprendizaje Ausubel llama *superordenado*. Es decir, a medida que ocurre el aprendizaje significativo, además de la interacción de los conceptos subsumidores, también es posible que ocurran interacciones entre esos conceptos y se originen otros conceptos más abarcadores (Ausubel, 2002).

Por último, el *aprendizaje combinatorio*, es el aprendizaje de proposiciones, que no guardan una relación de subordinación o de superordenación con proposiciones o conceptos específicos, pero que se relacionan con un contenido amplio y relevante general de la estructura cognitiva existente. En este tipo de aprendizaje se considera que la nueva idea *A* está relacionada con ideas ya existentes *B*, *C* y *D* pero sin ser más inclusiva ni más específica que ellas. En este tipo de aprendizaje se considera que la nueva idea *A* tiene algunos atributos característicos en común con las ideas ya existentes (Ausubel, 2002), o sea pasa a ser asimilada a la estructura cognitiva como un todo y no con aspectos específicos de ellas.

Cuando un nuevo concepto o proposición es aprendido por subordinación, el concepto subsumidor existente en la estructura cognitiva del aprendiz se modifica. La ocurrencia reiterada de este proceso lleva a una diferenciación progresiva del subsumidor. Por otra parte, en los aprendizajes *superordenado* y *combinatorio*, las ideas establecidas en la estructura cognitiva pueden, durante el proceso de nuevos aprendizajes, ser reconocidas como relacionadas. Esto hace que las nuevas informaciones sean adquiridas y las viejas

puedan reorganizarse y adquirir nuevos significados. Este proceso es llamado por Ausubel reconciliación integradora (Ausubel, 1976).

Así como el aprendizaje significativo puede ser subordinado, superordenado o combinatorio, la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora son procesos dinámicos, que ocurren durante la adquisición de significados. La estructura cognitiva evoluciona hacia una organización de lo aprendido. Para Ausubel (1976), la organización cognitiva de un área del conocimiento, en la mente de una persona, tiene una estructura jerárquica donde las ideas más inclusivas, se ubican en la cima de la estructura, y progresivamente se organizan conceptos, proposiciones y datos menos inclusivos y más diferenciados. Además, que esta organización jerárquica sea resultado de procesos dinámicos, hace que el aprendizaje significativo receptivo sea un proceso activo, ya que para que los significados sean retenidos y organizados jerárquicamente, debe ocurrir un proceso de adquisición, que necesariamente es activo; este tipo de actividad no es igual a la que caracteriza el aprendizaje por descubrimiento (Moreira, 2000).

Para Ausubel, el factor cognitivo más importante en el proceso de enseñanza es la estructura cognitiva del alumno en el momento del aprendizaje. Si ésta es clara, estable y organizada, significados precisos y no ambiguos surgen y tienden a ser retenidos. Al contrario si es ambigua, inestable y desorganizada, se dificulta el aprendizaje significativo y la retención del conocimiento, favoreciéndose un aprendizaje mecánico. En consecuencia, para Ausubel el aprendizaje significa la organización y asimilación de información en la estructura cognitiva de un individuo.

Cuando en una área del conocimiento, no existen subsumidores en la estructura cognitiva de los estudiantes. Ausubel sugiere el uso de puentes cognitivos u organizadores previos, como una metodología para intervenir en dicha estructura. Los organizadores previos deben servir de puentes entre lo que el estudiante ya conoce y el conocimiento a aprender. Constituyen materiales de introducción, de mayor nivel de abstracción, generalidad e inclusividad que se presentan antes que el material a ser aprendido (Ausubel, 1976).

También los conceptos son un aspecto importante de la teoría de la asimilación debido a que la comprensión y resolución significativa de problemas por parte de un estudiante dependen, en gran medida, de la disponibilidad de conceptos en su estructura cognitiva. Para Ausubel, los conceptos son "...objetos, eventos, situaciones o propiedades que poseen atributos de criterio comunes (a pesar de la diversidad de otras dimensiones o

atributos) y que se designan mediante algún signo o símbolo, típicamente una palabra con un significado genérico...” (Ausubel, 1976, p.538).

Debido a que la mayoría de los conceptos poseen nombres (sean estos objetos o eventos particulares) pueden ser manipulados, comprendidos y transferidos con mayor facilidad. Los nombres de conceptos se adquieren a través del aprendizaje significativo de representaciones, una vez que sus significados se han adquirido. A su vez, el proceso de adquisición de significados es regulado por la presencia de una actitud de aprendizaje significativo, y por la relación entre los atributos de criterio potencialmente significativos con las ideas pertinentes de la estructura cognitiva de un estudiante (Ausubel, 1976).

Según Ausubel, en los niños más pequeños, los conceptos son adquiridos a través del proceso de formación de conceptos, que corresponde a un aprendizaje por descubrimiento orientado a la verificación de hipótesis. Consiste en el establecimiento de relaciones entre los atributos descubiertos con la estructura cognitiva, producto de haber sido relacionados con diversos ejemplares particulares de los cuales derivan (Ausubel, 1976). En cambio, a partir de la edad escolar, la mayoría de los niños ya posee un repertorio adecuado de conceptos que permiten la ocurrencia de un aprendizaje significativo por recepción. La adquisición de nuevos conceptos, ocurre a través de un proceso de asimilación de conceptos (Moreira, 2000). En un comienzo, para la adquisición es necesaria la incorporación de apoyos concretos y empíricos, perceptibles o verbales para la asimilación de nuevos conceptos, pero en la adolescencia, durante la educación secundaria, los conceptos tienden a consistir más en abstracciones, mostrar una mayor precisión y diferenciación, y ser adquiridos principalmente por asimilación, con mayor conciencia de las operaciones de conceptualización involucradas (Ausubel, 1976).

En general, las personas también interpretan sus experiencias de percepción en función de conceptos específicos, que a su vez constituye la base, del aprendizaje de proposiciones por recepción y para la generación de proposiciones para la resolución de problemas. Como los conceptos representan regularidades de eventos u objetos, su aprendizaje es en cierta forma un aprendizaje representacional, debido a que los conceptos son representados por símbolos o categorías, que representan abstracciones de atributos esenciales de sus referentes.

Los conceptos representan tan sólo una de las diferentes maneras de definir una clase y no tienen una existencia real en el mundo físico. Sin embargo, en términos representacionales los conceptos son reales en el sentido que pueden ser adquiridos, percibidos, entendidos y manipulados como si tuvieran una existencia independiente.

Además, son percibidos y comprendidos denotativamente en función de sus funciones sintácticas (Greca, 2003).

En consecuencia, en la teoría de Ausubel, la adquisición de conceptos es un proceso de abstracción de las características comunes esenciales de una clase de objetos o acontecimientos que varían según el contexto, o a lo largo de otras dimensiones que se están explorando. Habitualmente, las características comunes no son elementos discretos, sino configuraciones comparables o conjuntos de relaciones. Los procesos psicológicos que intervienen en la forma más avanzada de formación de conceptos, según Ausubel (1976) siguen la siguiente secuencia: análisis discriminativo de diferentes patrones de estímulo; formulación de hipótesis relativa a los elementos comunes abstraídos; comprobación subsecuente de estas hipótesis en situaciones específicas; designación selectiva entre ellos, y una categoría general o conjunto de atributos comunes, bajo los cuales pueden incluirse con éxito todas las variantes; relación de este conjunto de atributos con ideas de afianzamiento pertinentes de la estructura cognitiva; diferenciación del concepto nuevo de los conceptos relacionados y previamente aprendidos; generalización de los atributos de criterio del concepto nuevo a todos los miembros de la clase; representación de nuevo contenido categorial por medio de un símbolo lingüístico que concuerde con el uso convencional.

En resumen, en la teoría de Ausubel, el aprendizaje de conceptos en escolares y adultos ocurre principalmente a través del proceso de asimilación conceptual, descrito por la teoría del aprendizaje significativo. Las personas aprenden los significados de conceptos nuevos, mediante la presentación de los atributos de criterio que los definen. El aprendizaje ocurre cuando la persona que aprende relaciona esos atributos con su estructura cognitiva.

En la escuela, los conceptos son presentados a los estudiantes como definiciones y los atributos que los definen están implícitos en el contexto en que se usan. De este modo, la culminación de la adquisición de un concepto sería un aprendizaje significativo (subordinado, superordenado y combinatorio), que ocurre a través de la interacción entre lo que es presentado al estudiante y el conocimiento previo específicamente relevante.

1.2. TEORÍAS PSICOLÓGICAS SOBRE FORMACIÓN DE CONCEPTOS

En psicología cognitiva, la representación y el aprendizaje de conceptos constituye un área de investigación de interés. Por este motivo, en las últimas décadas, se han

realizado estudios para determinar su naturaleza, cómo se representan y para qué sirven. En general, los conceptos son entendidos como representaciones mentales de clases (situaciones, objetos, eventos, individuos) que incluyen información de las instancias de la clase, más información adicional que se relaciona con la definición de la clase en relación con otros conceptos, además de información procedente de la percepción, de la vivencia de experiencias y de las inferencias realizadas (Rodríguez, 1999).

Según autores como Mchahne, (1991) y Thagard, (1990), los conceptos permiten las siguientes funciones cognitivas: a) categorización: proceso por el cual se coloca en un mismo grupo entidades que se consideran similares según algunas propiedades. Los conceptos son el producto de este proceso; b) percepción: un concepto permite a una persona identificar entidades o un conjunto de estímulos representativos de ese concepto; c) memoria: un concepto ayuda a recordar aspectos o cosas referidos a él, tanto en forma general como episódica; c) inferencia deductiva: un concepto permite hacer inferencias deductivas; d) generalización: un concepto permite obtener nuevas conclusiones generales; e) razonamiento analógico: un concepto permite la realización de razonamientos sobre objetos similares; f) explicación: un concepto permite construir explicaciones; g) comprensión de lenguaje: un concepto permite la comprensión de textos y explicaciones; h) producción de discurso: un concepto permite la producción de textos y oraciones; i) aprendizaje: los conceptos son aprendidos.

Sin embargo, aún no existe en la actualidad, una teoría unificada que contenga y explique todas estas funciones, coexistiendo diferentes enfoques y modelos de representación conceptual. Las investigaciones realizadas, han dado origen a diversas teorías sobre los conceptos y modelos de representación conceptual, que se extienden entre otros, desde la teoría clásica de los conceptos con raíces en la filosofía griega; la teoría prototípica o probabilística; enfoque *teoría/teoría* y esencialismo; la teoría neoclásica; y el atomismo conceptual (Laurence y Margolis, 1999; Lakoff, 1999; Medin, 1998). Una descripción resumida de cada uno de estos modelos de representación conceptual se presenta a continuación.

1.2.1. MODELO CLÁSICO

El modelo clásico tiene su origen en la filosofía clásica griega y en las ciencias exactas. Basa la representación conceptual en la abstracción y la generalización. Según este modelo, la representación se produce a partir de una lista de rasgos definitorios, necesarios

y suficientes para identificar un concepto, es decir se abstraen aquellos rasgos que definen el concepto, sin los cuales el concepto no sería tal. En este modelo la categorización se basa en reglas lógicas de clasificación, que establecen límites bien definidos entre conceptos, definiendo con claridad lo que pertenece a una categoría y lo que queda excluido, o sea, las categorías conceptuales se definen por la presencia o ausencia de atributos definitorios. Por su poderosa forma de categorizar, el modelo clásico es muy útil para definir categorías nominales, como los conceptos artificiales y científicos. Por ejemplo, las clasificaciones taxonómicas de la biología, donde los conceptos se organizan en clases supraordenadas y subordinadas, con un modelo representacional que se ajusta a una red semántica (Greca, 2003).

En el modelo clásico, el aprendizaje y adquisición de conceptos consiste en un montaje realizado por la persona que aprende, de los atributos necesarios y suficientes que definen a un concepto. En un comienzo, los modelos de aprendizaje de la teoría clásica eran empiristas, a partir de la percepción. Suponía que las personas, mediante abstracciones sucesivas construirían las representaciones de las regularidades de los objetos que constituirían los elementos o atributos del concepto a aprender. De este modo, los conceptos se formarían a partir de una base o conjunto de conceptos naturales o sensoriales. Sin embargo, la experiencia, ha mostrado la imposibilidad de reducir el aprendizaje de la mayoría de los conceptos, a una base de conceptos primitivos de carácter sensorial. En el caso de conceptos bien definidos, como los conceptos científicos y artificiales, a partir de condiciones necesarias y suficientes, la teoría clásica explica bien cómo los conceptos permiten realizar inferencias analíticas. Así, numerosos estudios con conceptos artificiales muestran que éstos se comportan como predice la teoría clásica. Sin embargo, en el caso de los conceptos naturales, que corresponden a clases de cosas cuya existencia y naturaleza no dependen de la actividad humana, no pueden ser reducidos a atributos necesarios y suficientes (Laurence y Margolis, 1999), presentando problemas y críticas. A continuación se presenta un resumen de críticas e insuficiencias explicativas (Greca, 2003) a la teoría clásica.

La mayoría de los conceptos no tienen definiciones, ni pueden reducirse a una base sensorial. Es fácil encontrar contraejemplos para una definición (Laurence y Margolis, 1999).

Existen insuficiencias que expliquen la realidad psicológica, que involucra la estructura de definición de muchos conceptos cuando las personas efectúan razonamientos. Es esperable que la comprensión de una frase involucre la capacidad de definir los

conceptos con las palabras que la forman, por lo tanto, frases formadas con palabras complejas de definir serían más difíciles de comprender, sin embargo, no ha sido posible de verificar experimentalmente este efecto de complejidad (Fodor, 1998).

En muchos casos, las personas tienen dificultades para encontrar atributos o características necesarias y suficientes que definan a un concepto (Medin, 1998).

Todos los ejemplares de un concepto tienen igual representatividad u homogeneidad interna, por compartir el mismo conjunto de condiciones necesarias y suficientes que lo definen. Sin embargo, resultados de investigaciones, muestran que los conceptos presentan efectos de tipicidad, esto es, existen ejemplares que son más representativos de una categoría que otros (Mervis y Rosch, 1981; Medin y Smith, 1984).

Relacionada con la tipicidad está el problema de “transición” de ciertos atributos que definen a un concepto. Si bien las condiciones necesarias y suficientes que definen un concepto, definen los límites entre conceptos, en situaciones concretas estas fronteras dependen de los juicios de las personas (Jackendoff, 1987).

De verificarse el aprendizaje de conceptos como el montaje de rasgos definitorios necesarios y suficientes, en los niños sería esperable encontrar un estadio de desarrollo, donde los conceptos aparecieran como una compilación de rasgos para posteriormente ser definidos, sin embargo, no se han encontrado estadios de desarrollo cognitivo más primitivos, donde los conceptos estuviesen no compilados. Según autores como Carey (1985), no existen evidencias de que el aprendizaje de un concepto sea un proceso de adquisición componente a componente.

Existe el problema de casos de conceptos que no pueden ser categorizados en forma clara. No es distinguible en forma precisa cuando algunos ejemplares pertenecen a un concepto.

1.2.2. TEORÍA PROTOTÍPICA O PROBABILÍSTICA

En esta teoría, los conceptos se representan por un prototipo que refleja los rasgos más representativos de todos los ejemplares de una categoría. El prototipo es una medida de tendencia central de la clase o categoría, debido a que comparte muchas propiedades con gran parte de los ejemplares que la constituyen. En este modelo los conceptos son representaciones complejas y la estructura de sus representaciones codifica relaciones estadísticas de las propiedades o rasgos que poseen las entidades representativas de los

conceptos. Esto quiere decir, que aunque algunos ejemplares de una categoría tiendan a poseer determinados atributos, pueden existir ejemplares que no los tengan, o tengan sólo algunos.

Esta teoría se aparta del modelo clásico al no exigir condiciones necesarias, asumiendo que la representación de un concepto es una entidad ideal que captura los rasgos característicos de una categoría o prototipo. Así, la pertenencia de un ejemplar a una categoría específica es el resultado de la comparación de sus atributos con los atributos del prototipo. El prototipo no representa un ejemplar particular de una categoría, sino se asume que es una representación resumida de los atributos característicos de la categoría (Greca, 2003).

Existe también, otra versión de la teoría probabilística que niega la existencia de una única representación resumida. Según esta teoría, la representación de un concepto está dada por la representación de ejemplares o instancias que constituyen una categoría o clase (Medin, 1998). Este modelo no considera ningún tipo de generalización o abstracción de las características de los ejemplares para formar un concepto, pues un concepto existe a partir de la representación de las distintas instancias concretas. Estas dos formas de representación, por prototipo o de ejemplares, son consideradas equivalentes, porque ambas se basan en una misma idea de similitud para la categorización, por comparación entre dos representaciones, entre la entidad a ser categorizada y la representación resumida o la del ejemplar (Greca, 2003).

En los modelos probabilísticos el aprendizaje es semejante al del modelo clásico. Las personas aprenden un concepto a partir de la presentación de una serie de ejemplos, de los cuales, abstraen los atributos característicos de la tendencia central. Así, se construye el prototipo del concepto a aprender, o en el caso del modelo de ejemplares, el aprendizaje ocurre con el almacenamiento en la memoria de largo plazo del ejemplar que mejor puede ser representado.

Los modelos probabilísticos han sido exitosos en la explicación de una gran cantidad de fenómenos psicológicos, sin embargo, han persistido problemas de insuficiencias para explicar la representación conceptual.

Los problemas que presenta este modelo se refieren a una serie de aspecto que se presentan a continuación. En primer lugar, muestra una baja capacidad de representación de los conceptos; es decir, basar la abstracción en una simple lista de atributos característicos resulta pobre para representar la estructura de los conceptos que construyen las personas, ya que éstas evidencian conocer mucho más acerca de los conceptos que de la

simple enumeración de sus rasgos característicos. Según investigaciones realizadas (Hampton, 1997), esto es debido a que el conocimiento generalmente ha sido construido en respuesta a preguntas teñidas de teoría. Además, los prototipos no contienen información acerca del tamaño de las categorías, la variabilidad de los ejemplares y las correlaciones entre atributos, ni tampoco contienen información del contexto (Medin, 1998).

Por otra parte, se ha planteado que el modelo clásico presenta problemas de circularidad, en el sentido de que en muchas ocasiones para la definición de una categoría se recurre a otras, que a su vez requieren de la primera para ser caracterizadas (Hampton, 1997). Para superar esta dificultad se ha sugerido representar algunos atributos mediante representaciones no lingüísticas, que se relacionen con la percepción y las acciones.

Además, el concepto de tipicidad por si mismo, no es una evidencia de la existencia de prototipos. Si bien la tipicidad se relaciona con los rasgos más sobresalientes de una categoría, no es necesariamente una caracterización fundamental de los conceptos. Al parecer existe una distinción entre propiedades evidentes, responsables de la tipicidad y otras constituyentes que estarían basadas en condiciones necesarias y suficientes de manera similar a la teoría clásica. Para superar esta crítica, se han propuesto teorías duales para la representación de conceptos. Así, los conceptos tendrían dos componentes: un carozo proveniente de la teoría clásica y la otra llamada procedimiento de identificación que describe la categorización basada en el modelo de prototipos (Laurence y Margolis, 1999).

Sumado a lo anterior, se puede apreciar que algunos conceptos no tienen prototipos; esto es porque no se puede encontrar una tendencia central que defina a un prototipo, ni tampoco se puede encontrar efectos de tipicidad. También, porque existen conceptos referentes a cosas que no existen, por lo tanto, carecen de una tendencia central. Para superar esta insuficiencia, se ha propuesto que la teoría prototípica carece de explicaciones porque esos conceptos, no tienen una estructura prototípica. Otra propuesta es aplicar las teorías duales afirmando que hay conceptos que solo tienen carozo (Laurence y Margolis, 1999).

En el caso de conceptos complejos, se da la indeterminación de la tipicidad a partir de sus atributos constituyentes (Medin y Shoben, 1988). Por lo tanto, se concluyó que los conceptos complejos no tienen estructura de prototipos. La otra posibilidad explicativa sería recurrir a las teorías duales y concluir que los conceptos complejos solo tienen carozo. (Greca, 2003).

En consecuencia, a pesar de sus éxitos explicativos, también los modelos probabilísticos de representación conceptual presentan problemas insuperables, que los

conducen a adoptar carozos similares a las representaciones de la teoría clásica, reduciendo los prototipos a representaciones conceptuales similares a las clásicas (Laurence y Margolis, 1999).

1.2.3. TEORÍA/TEORÍA Y ESENCIALISMO

Los modelos basados en este enfoque plantean que para comprender la representación conceptual, es necesario ir más allá de una simple correlación entre rasgos, que presuponen las teorías clásicas y probabilística y estudiar la existencia de relaciones causales que determinan esas correlaciones y permitan explicarlas. Los adherentes y constructores de estos modelos consideran que los conceptos no son simples formas de nombrar los resultados de una división del mundo en categorías, sino que son representaciones mentales estructuradas a partir de la relación con otros conceptos que conforman una teoría mental (Laurence y Margolis, 1999).

Estos autores asumen como principio, una analogía entre la cognición y el pensamiento científico. Consideran que los modelos clásicos y probabilísticos son reduccionistas y simplistas (Murphy y Medin, 1985; Carey, 1991; Keil, 1981; Lakoff, 1987; Gelman, 1988; Markman, 1987), por considerar la similitud como principio organizador para la formación de categorías. En cambio para estos autores, los conceptos maximizan la capacidad de las personas para entender el mundo, de manera similar a las teorías científicas. Los conceptos deben ser identificados a partir de los roles que desempeñan en los diferentes campos de conocimientos que las personas poseen, denominadas teorías mentales. Los conceptos son entendidos desde teorías que permiten dar sentido al mundo. Sirven para explicar la experiencia actual y predecir futuras experiencias.

Desde esta perspectiva, los conceptos son representaciones mentales estructuradas a partir de relaciones con los otros conceptos que conforman la teoría en la cual están situados. Estos principios corresponden a una visión de ciencia post-empirista, que considera que los significados de los conceptos dependen del armazón teórico que los sustenta, donde toda percepción u observación está teñida de teoría. Así, los niños y adultos poseen teorías cualitativamente diferentes, debido a discontinuidades en el desarrollo conceptual semejantes a los cambios de paradigmas de la teoría de Kuhn (1994). Al respecto Gopnik (1996) escribe: “los científicos y los niños ambos emplean los mismos poderosos y flexibles conjuntos de dispositivos cognitivos. Estos dispositivos les permiten

tanto a unos cuanto a otros desarrollar un conocimiento genuinamente nuevo acerca del mundo que los rodea”.

En relación con la categorización, Keil (1989) encontró que las personas tienen nociones diferentes acerca de lo que son las categorías naturales y artificiales. Esto, debido a que se fundamentan en teorías diferentes acerca de lo que una cosa es. Por otra parte, Gelman y Markman (1986) encontraron que la similitud no es el factor principal que guía la categorización. Dentro de esta misma visión, existe otro grupo de investigadores, que se adhieren a lo que se denomina esencialismo, o visión esencialista de los conceptos. Medin y Ortony (1989), sostienen que las personas actúan como si las cosas tuviesen esencias que las hacen ser lo que son. Esto quiere decir, que las esencias determinan lo que los conceptos son y no otra cosa. La esencia corresponde a una estructura interna o propiedades ocultas que hacen que un concepto sea lo que es. Según Gelman y otros (1994), lo que está en la base, es que las personas admiten, por una parte, que el mundo tiene un orden natural independiente del observador, y por otra, que las categorías en el mundo no son inventadas, ni arbitrarias, sino que responden a esa estructura subyacente. Lo que las personas hacen, es descubrirlas y darles nombre. Esto implica que las esencias determinan un mecanismo causal que explica lo que las cosas son. Se trata de un esencialismo psicológico referido a como las personas enfrentan los fenómenos del mundo, y no cómo este es.

Estudios realizados con niños pequeños apoyan la postura del esencialismo. Señalan que los niños se sorprenden cuando observan eventos sin causa aparente, tienden a buscar mecanismos causales ocultos cuando observan eventos que violen las leyes causales que conocen, adoptando una postura denominada determinismo causal. Al respecto Gelman afirma: “es posible que los niños no solamente razonen causalmente en relación a eventos como caer enfermos, sino también acerca de las características de los objetos, tales como las pintas en las jirafas o la habilidad de un conejo para saltar” (Gelman y otros, 1994).

Se estima que las personas adoptan la visión esencialista porque esta visión es un buen principio heurístico para la categorización. Dentro de este enfoque la representación conceptual está teñida de teorías. El supuesto es que si las cosas se parecen es porque comparten propiedades profundas ocultas, aunque nunca se pueda conocer, cuál es esa propiedad. Más aún, puede que nunca la conozcan. A esto Medin denomina *place holder*, lo cual significa que las personas razonan acerca de las categorías como si tuvieran esencias, aunque sean desconocidas.

En los modelos esencialistas, la representación conceptual parece formar parte de estructuras cognitivas complejas. Los significados están determinados por las relaciones con otros conceptos dentro de una teoría. De esta manera, la categorización tiene una explicación realista al pensar las personas en esencias. Sin embargo, existen algunos problemas y críticas que se presentan a continuación.

Sobreestimación de la profundidad de la comprensión conceptual. Por ejemplo, en la enseñanza de las ciencias, en la utilización de analogías se observa que los estudiantes tienden a realizar relaciones superficiales, entre la analogía fuente y la analogía blanco, sin establecer relaciones profundas y estructurales (Gentner y Landers, 1985). Por otra parte, investigaciones realizadas con conceptos naturales y artificiales muestran que se otorga una profundidad mayor, al conocimiento de los conceptos que las personas verdaderamente tienen (Malt, 1994). Las palabras que las personas usan no son un reflejo exclusivo de su conocimiento conceptual, sino también de la evolución de su lenguaje.

Estabilidad de la representación conceptual. Debido a que las teorías mentales de los niños son inconmensurables con las de los adultos, es difícil afirmar si una misma persona está refiriéndose al mismo concepto en dos momentos diferentes de su vida, o que un padre y un hijo están refiriéndose al mismo concepto cuando dialogan. Para superar esta dificultad, no se exige la identidad entre dos conceptos, sino que sólo tengan contenido similar, entendiendo que dos conceptos son similares en contenido, si su estructura mantiene un número suficiente de conceptos con igual contenido (Laurence y Margolis, 1999). Otra solución, consiste en considerar los conceptos desde dos dimensiones, una desde la teoría mental y otra como un símbolo mental específico. De esta forma lo que cambia en el tiempo en relación a un concepto son las teorías mentales, no sus marcadores (símbolo o *place holder*) que se suponen estables en el tiempo y no explícitos.

Otro problema, se relaciona con la explicación del cambio conceptual. En la explicación de la forma en que cambian las teorías mentales, según los partidarios de estos modelos (Gopnik, 1988, 1996), el desarrollo de las teorías científicas imita el desarrollo conceptual. Pero fundamentar el cambio conceptual en los cambios de paradigma que describe la filosofía de las ciencias no explica el denominado contexto del descubrimiento, que puede ser irracional, ya que no se conoce cómo los científicos alcanzan los cambios de paradigma.

1.2.4. TEORÍAS NEOCLÁSICAS

Los sostenedores de las teorías neoclásicas son principalmente lingüistas preocupados de encontrar respuestas explicativas a regularidades del lenguaje, tal como el significado de los verbos. Critican la teoría clásica, pero rescatan algunos de sus supuestos. Sostienen que adoptar condiciones necesarias y suficientes para la definición y representación de un concepto es sospechosa, pero aceptan que para explicar algunos efectos del lenguaje se deben adoptar ciertas condiciones necesarias. Al respecto Jackendoff (1987) plantea: “Por lo menos tres condiciones son necesarias para especificar adecuadamente el significado de las palabras. Primero, son precisas condiciones necesarias: por ejemplo ROJO debe contener la condición necesaria de color y TIGRE por lo menos la de cosa. En segundo lugar, necesitamos condiciones con grados para designar los matices de los conceptos de colores, por ejemplo. Estas condiciones especifican el valor central para un atributo que varía continuamente. ... en tercer lugar, necesitamos condiciones que sean típicas, pero que puedan estar sujetas a excepciones, por ejemplo, el elemento de competición en los juegos...” (Jackendoff, 1987).

En el enfoque neoclásico los conceptos son estructuras, en que una de sus partes son ciertas condiciones necesarias, por lo cual, los conceptos tienen definiciones parciales que codifican un conjunto de condiciones necesarias. Que la definición sea parcial significa que es razonable que se pida que un objeto sea coloreado para poder ser ROJO, pero no se establece ninguna condición suficiente para que algo sea característico del concepto de ROJO.

El objetivo de los lingüistas neoclásicos es dar cuenta de la creatividad y aparente complejidad del lenguaje, a partir de un número pequeño de primitivos y relaciones, continuando con la idea desarrollada por Chomsky para la gramática, es decir, que las personas poseen un sistema de generación de conceptos innatos, “... Si existe un número indefinidamente grande de posibles conceptos léxicos, y la base innata para adquirirlos debe ser codificada en un cerebro finito, estamos forzados a concluir que la base innata debe consistir en un conjunto de principios generativos, un grupo de primitivos y principios de combinación que colectivamente determinan el conjunto de conceptos léxicos. Esto implica, a su vez, que la mayoría, sino todos los conceptos son compuestos, sea, que pueden ser descompuestos en términos de primitivos y principios de combinación de esta gramática innata de conceptos léxicos” (Jackendoff, 1985).

Los sostenedores del modelo neoclásico, postulan que lo que es inherente de la gramática conceptual, es el potencial de un número infinito de conceptos léxicos. Así, el aprendizaje de conceptos, es entendido como el resultado de la construcción de una expresión compuesta, resultante de la aplicación de las posibles reglas de la estructura conceptual, más las estructuras fonéticas y sintácticas del lenguaje, más las estructuras conceptuales no lingüísticas como la información espacial, para las que se asumen reglas de formación propias. Asumen que esta es la manera como se construye la representación conceptual, la que queda almacenada en la memoria de largo plazo como una unidad de uso. Este proceso de formación de conceptos, es ilustrado mediante un esquema (Jackendoff, 1985), que muestra la relación entre los niveles de procesamiento que participan en la formación de un concepto. Cada nivel tiene reglas propias, incluida la información espacial que tiene reglas de procesamiento similares a la información lingüística.

En síntesis, la visión neoclásica, no tiene como objetivo central la elaboración de una teoría completa de los conceptos, sino explicar las regularidades del lenguaje mediante la aceptación de condiciones necesarias. Los modelos de este enfoque son potentes para explicar fenómenos de la producción y adquisición del lenguaje, pero presentan insuficiencias para dar una explicación completa de la representación conceptual.

1.2.5. ATOMISMO CONCEPTUAL

Esta propuesta teórica se caracteriza por no aceptar que los conceptos tengan estructura. Propone conceptos sin estructura, basada en el supuesto que el contenido de un concepto primitivo está determinado por la posición del concepto en una relación causal adecuada con las cosas del mundo. Al respecto Fodor (1998), afirma: “¿Cuál es la estructura del concepto de PERRO?... de acuerdo con la evidencia disponible, es razonable suponer que dicha representación mental no tienen estructura; es razonable pensar que son átomos...”. Así por ejemplo, el concepto de PAJARO representa la propiedad de pájaro (no su relación con otros conceptos como ave, alas, etc.), en parte porque existe una relación causal que conecta la propiedad de ser pájaro con el concepto de PAJARO.

La gran ventaja del supuesto de los conceptos sin estructura, es que no exige cualquier representación adicional asociada a un determinado concepto para tener el contenido que tiene. Es decir, una persona puede tener el concepto de AUTOMÓVIL, sin

tener el concepto de VEHÍCULO. Sólo se requiere que exista un procesamiento que asegure adecuadamente las relaciones entre la mente y el mundo. De este modo, no existe el problema del error, pudiendo suceder que el concepto (prototipo, ejemplar, o teoría mental) particular que una persona tenga no coincida con lo que el concepto es. Por lo tanto, no se puede asegurar que posea el concepto. Para el atomismo conceptual no existe el problema del error en la medida en que el concepto que posea una persona esté apropiadamente conectado con la propiedad que designa; el concepto expresa la propiedad independientemente de las creencias de las personas (Greca, 2003).

Por otra parte, los conceptos al no tener estructura no existe el problema de la estabilidad presente en las otras teorías de representación conceptual, en tanto las personas conserven la relación entre la mente y el mundo, las variaciones en sus creencias sobre un concepto no modifican su contenido (Laurence y Margolis, 1999). Por otra parte, si bien, las propuestas teóricas del atomismo conceptual sólo son para los conceptos léxicos y no para los conceptos compuestos, la teoría presenta algunos problemas y críticas.

El atomismo conceptual tiene implícito un innatismo radical al postular que los conceptos no son compuestos y por lo tanto son primitivos. Esto se critica fuertemente porque de acuerdo a estos postulados, se puede llegar a conclusiones anti-intuitivas. Por ejemplo, si conceptos como MOTOR, CAMPO ELECTRICO, BACTERIA son innatos, la teoría fallaría al postular la adquisición de conceptos en términos más fundamentales. La teoría debería explicar cómo se establecen las relaciones entre la mente y el mundo. Para superar esta insuficiencia, se postula la existencia de mecanismos de apoyo, que regularían las relaciones mente-mundo. Los conceptos estarían vinculados a traductores neurológicos específicos (base sensorial) que mediante algún proceso inferencial permiten que una persona acceda al concepto. De esta manera, el aprendizaje de conceptos sería la acumulación de información perceptual de una clase, que junto a dispositivos de procesamiento, permite establecer un proceso de inferencia que relacione la información con el concepto.

No tiene explicación para el proceso de categorización. Como los conceptos son primitivos, toda información asociada a un concepto no forma parte de la estructura del concepto, corresponde a información colateral (Laurence y Margolis, 1999). A los conceptos se les puede asociar cualquier estructura que se desee para justificar una explicación, pero, esas estructuras están asociadas a los conceptos y no forman parte de ellos.

No puede explicar la adquisición de conceptos compuestos, debido a su insuficiencia para establecer las relaciones entre la mente y el mundo para este tipo de conceptos. Esta dificultad es similar a la de la teoría probabilística, que para algunos conceptos no puede establecer prototipos (Laurence y Margolis, 1999).

Otro problema, es cómo distinguir o diferenciar entre conceptos que se refieren a una misma cosa, también denominados co-referenciales. Por ejemplo, cómo distinguir entre COMPRAR y VENDER debido a que en cada evento un objeto es vendido y también es comprado. En el caso de las teorías que definen los conceptos con estructura, se puede establecer fácilmente estas diferencias, por las diferencias en sus estructuras. En cambio, en la teoría atomista esto no es posible, porque los conceptos carecen de estructura. Para superar esta dificultad, se propone completar la teoría postulando roles inferenciales (Laurence y Margolis, 1999). Con esto los conceptos dejarían de ser primitivos negando el postulado fundamental de la teoría.

1.3. TEORÍA DE LOS CAMPOS CONCEPTUALES DE GERARD VERGNAUD

Para este autor, una situación es una combinación de tareas y problemas, y a través de la acción y dominio progresivo de las situaciones, una persona adquiere los campos conceptuales que modelan su conocimiento (Vergnaud, 1990). El sentido que se le atribuye a una situación es el resultado de la interacción entre ésta y la representación que la persona hace de la misma. El vínculo entre el desempeño y la representación, está descrito por el concepto de esquema introducido por Piaget (Vergnaud, 1990; 1996). Uno de los elementos principales que determina la organización de un esquema, son los invariantes operatorios (o conocimientos –en-acción) que constituyen la base conceptual implícita o explícita, de la cual se obtiene información relevante para inferir reglas de acción apropiadas según el propósito por alcanzar. Se distinguen dos tipos de invariantes operatorios: los conceptos-en-acción y teoremas-en-acción. Al mismo tiempo, es necesario recordar que la actividad humana está mediatizada por la interacción social y por el uso de signos e instrumentos (Vygotsky, 1995). En este sentido, el lenguaje es la herramienta que permite apartarse de referentes concretos y por ello, facilita el desarrollo de los procesos mentales superiores que dependen de la descontextualización; por tanto, el aprendizaje de conceptos científicos se facilita a través del proceso de mediación semiótica (Riviere,

1994). Con el propósito de otorgar sentido y coherencia al contenido de las preguntas y objetivos de la investigación que se desarrolla en esta Tesis, se presentan y describen a continuación las principales características de la teoría de campos conceptuales.

La teoría de campos conceptuales ha sido desarrollada por Gérard Vergnaud, quién al igual que Piaget, considera al conocimiento esencialmente como un proceso de adaptación. Para este autor el problema central de la cognición es la conceptualización, y a partir de esta premisa desarrolla una teoría psicológica, que postula que el conocimiento se encuentra organizado en campos conceptuales, de los cuales las personas se apropian a lo largo del tiempo. Un campo conceptual se define como "... un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones de pensamiento, conectadas entre sí y entrelazadas durante el proceso de adquisición..." (Vergnaud, 1982, p.40). El objetivo de esta teoría es proporcionar una estructura para la investigación sobre actividades cognitivas complejas, en especial el aprendizaje del conocimiento científico, "... se trata de una teoría psicológica del conocimiento o de la conceptualización de lo real que permite estudiar las filiaciones y rupturas entre conocimientos desde el punto de vista de su contenido conceptual..." (Vergnaud, 1993, p.1).

Los presupuestos fundamentales de esta teoría son: i) un concepto no se adquiere dentro de un solo tipo de situaciones; ii) una situación no se analiza con un solo concepto; iii) la construcción y apropiación de todas las propiedades de un concepto es un proceso lento que se realiza a lo largo de mucho tiempo. Esta teoría es compleja y permite abordar desde una perspectiva única el desarrollo de situaciones progresivamente dominadas, de los conceptos y propiedades necesarias para operar eficientemente en las situaciones, con las expresiones lingüísticas y símbolos que pueden representar eficazmente los conceptos y operaciones por parte de los estudiantes, en acuerdo con sus niveles cognitivos.

En consecuencia, la teoría de los campos conceptuales permite analizar la relación entre los conceptos científicos en su dimensión de conocimientos explícitos y los invariantes operatorios implícitos del comportamiento de las personas en determinadas situaciones, así como profundizar en el análisis de las relaciones entre los significados y significantes de un concepto o de un campo conceptual (Vergnaud, 1993). Para una mejor comprensión de esta teoría se describen a continuación en forma sucinta los conceptos centrales de la misma.

1.3.1. SITUACIÓN Y ESQUEMA

Una situación es entendida como una tarea cognitiva. Por tanto, toda situación es compleja, es una combinación de tareas y problemas, de modo que los procesos y las respuestas cognitivas de una persona, por ejemplo un estudiante, están determinadas por las situaciones que enfrenta. Luego, a través de su acción y dominio progresivo de las situaciones es como una persona adquiere los campos conceptuales que modelan su conocimiento (Vergnaud, 1990).

Desde el punto de vista cognitivo, el sentido que una persona atribuye a una situación es el resultado de la interacción entre la situación y la representación que la persona hace de la misma. Según Vergnaud, el vínculo entre el comportamiento y la representación está descrito por el concepto de esquema introducido por Piaget, el cual, define como “...una organización invariante del comportamiento para una clase de situaciones determinada...” Vergnaud (1994, p.393). La organización de un esquema se basa en cuatro clases de elementos principales: 1) Objetivos y anticipaciones; 2) Reglas de acción; 3) Invariantes operatorios y 4) Posibilidades de inferencia (Vergnaud, 1996).

Por objetivos y anticipaciones, se entiende que un esquema se dirige siempre a una clase de situaciones, en las que una persona puede descubrir un posible propósito de su actividad, sus objetivos, o bien esperar ciertos efectos o fenómenos. Las reglas de acción son la parte generadora de un esquema, y permiten generar la continuación de las acciones de transformación de lo real, de la recogida de información y del control de los resultados de la acción. Son reglas del tipo si, ..., entonces, que permiten a una persona garantizar el éxito de su actividad en un contexto que puede estar en permanente cambio.

Los invariantes operatorios constituyen la base conceptual implícita o explícita, que permiten a una persona obtener la información pertinente, e inferir a partir de esta información y del propósito por alcanzar, las reglas de acción más apropiadas. Se distinguen dos categorías principales de invariantes operatorios: los conceptos-en-acción y teoremas-en-acción que se explican más adelante.

Las posibilidades de inferencia son los razonamientos o posibilidades de inferencia, que contiene necesariamente un esquema para anticiparse a una situación concreta, es decir, un esquema es un instrumento de adaptación de la actividad y del comportamiento a los valores tomados por los diferentes parámetros en una situación particular.

1.3.2. CONCEPTO-EN-ACCIÓN Y TEOREMA-EN-ACCIÓN

El interés central del concepto de esquema es establecer el vínculo teórico entre el comportamiento y la representación. Los invariantes operatorios son los elementos que establecen esta articulación esencial, ya que la percepción, la búsqueda y selección de la información quedan determinadas completamente por los conceptos-en-acción disponibles en la estructura cognitiva de una persona (objetos, atributos, relaciones, condiciones, circunstancias, etc.) y por los teoremas-en-acción subyacentes en su comportamiento. Para Vergnaud, “...un teorema-en-acción es una proposición considerada como verdadera sobre lo real, y un concepto-en-acción es una categoría de pensamiento considerada como pertinente” (Vergnaud, 1996, p.202). Con estos conceptos, Vergnaud se está refiriendo a un conocimiento implícito de los conceptos, que aunque formen parte de la estructura cognitiva, no lo serán del todo hasta que la persona sea capaz de explicitarlos. A este conocimiento, Vergnaud llama también en forma sucinta, conocimiento –en-acción, ya que es el conocimiento que permite la adaptación y capacidades de las personas para enfrentar nuevas situaciones.

1.3.3. CONCEPTOS

Respecto de los conceptos, la teoría de campos conceptuales considera que los conceptos no deben ser definidos sólo por su estructura, sino que se requiere considerar las propiedades, y las situaciones en las cuales los conceptos son usados, como también, las representaciones simbólicas que una persona utiliza para pensar, escribir o hablar acerca de un concepto. De este modo, los conceptos están constituidos por elementos que se relacionan. Estos elementos corresponden a un conjunto de situaciones, invariantes operatorios y sus propiedades expresadas por medio de diferentes representaciones simbólicas.

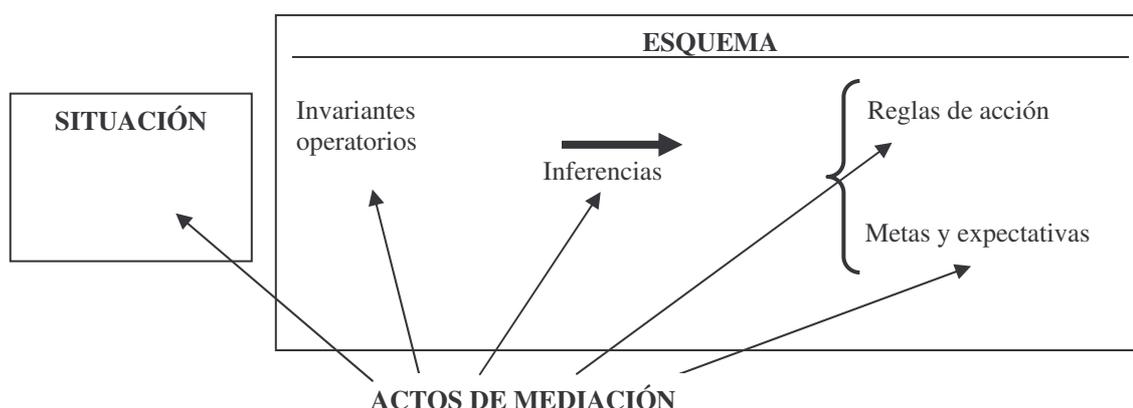
Estas consideraciones, llevan a definir un concepto como un conjunto de situaciones que dan sentido al concepto, son el referente de un concepto; más un conjunto de invariantes operatorios en que se basa la operacionalidad de los esquemas, que constituyen el significado del concepto, más un conjunto de representaciones simbólicas de diferentes formas de lenguaje que representan simbólicamente a un concepto, o sea, representan a los invariantes operatorios y sus propiedades, las situaciones y los

procedimientos de enfrentamiento con éstas. Las representaciones simbólicas son el significante de un concepto, (Vergnaud, 1993; 1998).

En términos psicológicos, las situaciones corresponden a la realidad, y los invariantes operatorios y las representaciones simbólicas a su representación, considerados ambos como dos aspectos del pensamiento, el significado y su significante respectivamente. Así, desde la perspectiva de la teoría de campos conceptuales de Vergnaud (1998), un concepto va adquiriendo sentido para una persona, y en particular para un estudiante, a través de su interacción con situaciones y problemas, ya que solo de esta manera un estudiante asimilará las propiedades que formarán sus conceptos-en-acción y teoremas-en-acción, o en forma resumida, sus conocimientos-en-acción, que en la medida que sean expresados en forma explícita mediante sus significantes (representaciones simbólicas), esos invariantes o conocimientos-en-acción pasan a conformar el concepto de una persona y de un estudiante.

En este punto, se hace necesario incorporar la visión que plantea Vergnaud (1998) en torno a la enseñanza, puesto que tal como se muestra en la Figura 1.3 la interacción entre los esquemas y sus componentes y la situación, se realiza a través de diversos actos de mediación, entendida ésta en el sentido que la plantea Vygotsky. Este autor plantea que el desarrollo cognitivo se da a instancias de la mediación social, lo cual supone un aprendizaje colectivo mediado por alguien más competente y de la mediación semiótica, preferentemente a través del lenguaje y los símbolos que permiten la internalización de lo aprendido.

Figura 1.3 Interacción entre situación y esquema (Adaptado de Vergnaud, 1998, p. 180)



Este proceso se explica a través de la Ley de la doble función, referidas a los procesos interpsicológicos (mediación social) mediante los cuales se aprende junto a otros y los

procesos intrapsicológicos a través de los cuales el estudiante internaliza lo aprendido colectivamente por medio del lenguaje y los símbolos (Riviere citando a Vygotsky, 1994).

De este modo, el profesor tiene un papel de mediador, ayudando a los estudiantes a desarrollar sus esquemas y representaciones, utilizando el lenguaje y los símbolos de las disciplinas para explicar, preguntar, seleccionar información, proponer objetivos, reglas y expectativas. Esto permitiría que al presentar situaciones con tareas y problemas de complejidad creciente, los estudiantes desarrollen nuevos esquemas a partir de nuevos invariantes operatorios, lo cual posibilitará la asimilación y aprendizaje de nuevos significados y la aprehensión de nuevos conceptos.

1.4. RESUMEN

En las teorías constructivistas de desarrollo cognitivo, como la de Piaget, las principales unidades psicológicas que describen el funcionamiento de una persona son los esquemas, los cuales constituyen una parte esencial de las representaciones. Estas unidades psicológicas, también están constituidas por otros elementos tales como: los conceptos, las relaciones entre éstos y su organización en teorías, que corresponden a un tipo de representaciones más elaboradas y explícitas (Delval, 1997). Desde esta perspectiva, los conceptos se generan a partir de la aplicación de los esquemas y describen las regularidades que una persona encuentra al usarlos en sus acciones, constituyendo un instrumento esencial del conocimiento, que contribuye a la economía cognitiva de una persona.

Un tipo de conceptos que las personas adquieren a lo largo de su desarrollo cognitivo de mayor importancia, son los conceptos científicos, que a diferencia de otro tipo de conceptos -espontáneos o cotidianos- se aprenden de modo intencional y sistemático en un contexto escolar a través de la enseñanza. Vygotsky (1995) planteaba que los conceptos científicos, no así los conceptos espontáneos, generalmente son presentados a través de definiciones lingüísticas y de aplicaciones a situaciones concretas, motivo por el cual no se accede a ellos por la vía perceptiva directa, y por tanto, es casi imposible vivenciarlos. De este modo, el acceso a los conceptos científicos es mediado por otros conceptos y solamente se consolidan en la medida que puedan ser aplicados a situaciones concretas.

Del conjunto de teorías de representación conceptual surgidos desde la psicología cognitiva, ninguna teoría puede dar una explicación completa acerca de la representación y

adquisición de conceptos naturales, artificiales y científicos. Estas teorías abordan principalmente los conceptos del lenguaje natural y tangencialmente abordan los conceptos científicos.

Si bien, no existe una teoría unitaria sobre la representación y adquisición de conceptos, que describa y explique, los cambios cognitivos en los procesos y formatos representacionales que tienen que producirse en los estudiantes, para que puedan aprender y utilizar eficazmente los significados de los conceptos científicos, los modelos teóricos presentados en este capítulo, proporcionan fundamentos teóricos necesarios para orientar y tener en cuenta en cualquier investigación, que se desee realizar sobre aprendizaje de conceptos científicos, tal como el concepto de campo en Física.

Todas estas teorías de representación conceptual, ponen de manifiesto que las personas no utilizan un único tipo de representación, sino distintos tipos de representación conceptual en función de los significados del concepto, del contexto y su nivel de conocimientos (Rodríguez, 1999).

En la medida que se profundice el estudio de aprendizaje de conceptos científicos y aumenten sus aplicaciones en la enseñanza de las ciencias, los diferentes modelos de representación conceptual, pueden ser un aporte significativo en la construcción de referenciales teóricos para la investigación en educación en ciencias.

Por último, respecto a la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, podemos decir que la investigación de adquisición y dominio de un campo conceptual, involucra principalmente, identificar y seleccionar situaciones, que permitan recolectar datos sobre procedimientos y representaciones simbólicas, a través de las cuales, los estudiantes expresan su pensamiento (Vergnaud, 1998). Una investigación se inicia con la determinación de objetivos, relaciones y posibles conocimientos-en-acción. Continúa con el diseño de situaciones de tareas y problemas, la elaboración de materiales para aplicar a los estudiantes, para luego, a través de la observación y análisis de las diferentes situaciones investigadas, identificar y estudiar los procedimientos y representaciones simbólicas utilizadas por los estudiantes en las situaciones. Terminado un ciclo de investigación, comienza otro nuevo para mejorar y ampliar el anterior y así sucesivamente.

La teoría de campos conceptuales, también puede ser aplicada para guiar investigaciones de aprendizaje de conceptos de física (Moreira, 2002; Greca y Moreira, 2002). Esto es posible, si se diseñan y seleccionan situaciones que den sentido a los conceptos en estudio, e investigar a partir de éstas, características de los invariantes operatorios usados por los estudiantes que les ayudan a una asimilación y

conceptualización de los significados de los conceptos (Moreira, 2002; Greca y Moreira, 2002).

Por otra parte, el interés de esta investigación, es estudiar la progresividad del dominio de un campo conceptual por parte de los estudiantes. Esto implica analizar en términos relacionales y jerárquicos, diferentes clases de situaciones que puedan ser propuestas a los estudiantes, para conocer los distintos procedimientos y representaciones simbólicas que éstos utilizan (Caballero, 2004). Por lo tanto, según la teoría de campos conceptuales, será una tarea del investigador, el entender la utilidad de una representación particular, y determinar bajo qué condiciones y en qué momento, una representación puede ser reemplazada por otra más general.

Durante la enseñanza el profesor tiene el papel de mediador, ayudando a los estudiantes a desarrollar sus esquemas y representaciones, utilizando el lenguaje y símbolos de la disciplina para explicar, preguntar, seleccionar información, proponer objetivos, reglas y expectativas. Esto permite que, al presentar situaciones con tareas y problemas de complejidad creciente, los estudiantes desarrollen nuevos esquemas a partir de nuevos invariantes operatorios, lo cual posibilita la adquisición de nuevos significados y la progresividad del aprendizaje.

CAPÍTULO 2

INVESTIGACIÓN EDUCATIVA SOBRE EL CONCEPTO DE CAMPO EN FÍSICA

En el ámbito de la educación en ciencias, se han desarrollado diversas investigaciones sobre el aprendizaje del concepto de campo en Física, tanto en estudiantes secundarios como en estudiantes universitarios; éstas se enmarcan en el dominio de la Física clásica y se refieren preferentemente al campo electrostático, electromagnético y gravitatorio.

Con el propósito de conocer el estado de desarrollo de las investigaciones de aprendizaje y enseñanza del concepto de campo en Física, se revisaron y consultaron artículos publicados en las principales revistas de investigación en educación en ciencias, durante el periodo comprendido entre los años 1992–2001. Para ello se seleccionaron las siguientes publicaciones: *Enseñanza de las Ciencias*; *Physics Education*; *International Journal of Science Education* y *Science Education*.

El resultado de esta búsqueda bibliográfica arrojó una escasa cantidad de trabajos en el aprendizaje y enseñanza del concepto de campo. Es así como, se analizaron un total de 11 artículos que de acuerdo al tópico de investigación se agruparon en las siguientes categorías: investigaciones sobre estrategias de enseñanza; investigaciones sobre dificultades de aprendizaje; investigaciones sobre representaciones mentales e investigaciones sobre concepciones y razonamiento. Los resultados principales de esta revisión bibliográfica se presentan y discuten en la sección siguiente¹.

2.1. INVESTIGACIONES SOBRE ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA

El tema de estas investigaciones es el diseño y evaluación de estrategias de enseñanza del campo eléctrico con estudiantes secundarios. El fundamento teórico que las sustenta es un modelo de enseñanza-aprendizaje como una investigación dirigida, y están

¹ Llancaqueo, A., Caballero, C. y Moreira, M. (2003). El concepto de campo en el aprendizaje de la física y en la investigación en educación en ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2 (3), Artículo 2. En <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Esta publicación es una versión reducida de lo que se presenta en los Capítulos 1 y 2 de esta tesis.

orientadas a superar dificultades de aprendizaje que se asumen de resultados de investigaciones anteriores sobre concepciones alternativas (Furió y Guisasola, 2001; Martín y Solbes, 2001). Otras investigaciones de esta categoría se basan en resultados de estudios de análisis de contenidos y formas de razonamiento en física (Viennot y Rainson, 1999). Los resultados obtenidos en estas investigaciones, a partir de la aplicación de las estrategias de enseñanza y de los instrumentos de evaluación de aprendizaje conceptual, informan que la mayoría de los estudiantes del grupo experimental mejora su aprendizaje del concepto de campo eléctrico, con una mayor asimilación de significados del concepto frente al grupo control, e interpretan las dificultades de aprendizaje como consecuencia de un tratamiento didáctico deficiente y confuso (Martín y Solbes, 2001). Además, destacan la obtención de resultados relevantes, referidos a aspectos cognitivos tales como la identificación de dificultades de los estudiantes para aceptar la existencia de un campo eléctrico en un medio donde las cargas están inmóviles, e ignorar las fuentes de campo no representadas explícitamente en forma matemática. Además, concluyen que la comprensión conceptual de los estudiantes progresa sólo cuando los aspectos causales han sido enfatizados durante la enseñanza (Viennot y Rainson, 1999).

2.2. INVESTIGACIONES SOBRE DIFICULTADES DE APRENDIZAJE

Estas investigaciones tienen por objetivos identificar, interpretar y analizar dificultades de aprendizaje del campo electromagnético, en contextos de enseñanza con estudiantes secundarios (15-17 años) y primer año de universidad (17-18 años). La central hipótesis de estos estudios es que el origen de las dificultades de aprendizaje se relaciona con las concepciones alternativas de los estudiantes (Galili, 1995). Los resultados muestran que sólo una minoría de estudiantes, tanto de enseñanza secundaria como universitaria usa en forma significativa el concepto de campo. La mayoría de los estudiantes no establece diferencias conceptuales entre fuerza y campo eléctrico, y aprecia que la introducción del concepto de campo a partir de su definición operacional exclusivamente afecta su comprensión. A su vez, los datos y resultados evidencian problemas de aprendizaje de mecánica. Además, comentan que el origen de las dificultades de aprendizaje podría estar en las concepciones alternativas y la existencia de un paralelismo entre problemas de aprendizaje y problemas epistemológicos, similar a los problemas epistemológicos

históricos de los orígenes del concepto de campo eléctrico (Furió y Guisasola, 1998a, 1998b).

2.3. INVESTIGACIONES SOBRE REPRESENTACIONES MENTALES

Los principales propósitos de estas investigaciones son identificar modelos mentales de las personas del magnetismo y las relaciones entre electricidad y magnetismo (Borges y Gilbert, 1998); e investigar el tipo y nivel de representación mental del concepto campo electromagnético, que construyen y utilizan los estudiantes durante la instrucción, cuando éstos estudian, responden preguntas y resuelven problemas (Greca y Moreira, 1997; 1998). Adicionalmente, revisar en profundidad la teoría de representaciones mentales que guía la identificación de las representaciones del campo electromagnético (Greca y Moreira, 2000). Los resultados y conclusiones de estas investigaciones destacan que las personas construyen modelos mentales simples, en acuerdo con sus conocimientos del mundo físico. La expansión del conocimiento en algún dominio de la física se produce por asimilación y acomodación del nuevo conocimiento en modelos mentales más sofisticados. En el caso del magnetismo, los modelos construidos por las personas y en particular los estudiantes, son una evidencia de los efectos de la instrucción recibida (Borges y Gilbert, 1998). Por otra parte, los trabajos de Greca y Moreira destacan que los estudiantes que evidencian comprensión y aplicación de significados científicos del concepto de campo, son aquellos que desarrollan un modelo mental físico del concepto de acuerdo a la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird (1983). Concluyen que aprender el marco conceptual de una teoría física, como el electromagnetismo, implicaría generar un modelo o representación mental del mismo.

2.4. INVESTIGACIONES SOBRE CONCEPCIONES Y RAZONAMIENTO

Este grupo de investigaciones apunta a investigar concepciones y formas de razonamiento de los estudiantes. Identificar ideas acerca de aspectos del campo eléctrico que revelen posibles obstáculos de aprendizaje (Viennot y Ranson, 1992). Además, identificar la coexistencia de concepciones alternativas y concepciones científicas del

concepto de campo gravitatorio e indagar las relaciones entre éstas concepciones (Palmer, 2002). En el caso del campo eléctrico, los resultados de estas investigaciones, muestran que las explicaciones de los estudiantes evidencian formas de un razonamiento causal lineal, que por ejemplo, dota a la carga encerrada por una superficie gaussiana de un tipo de causalidad exclusiva, que por consiguiente los lleva a negar y no usar el principio de superposición del campo eléctrico (Viennot y Rainson, 1992). Por otra parte, la investigación del campo gravitatorio, muestra la identificación de concepciones alternativas en igual proporción en todos los grupos de estudiantes, sin importar aparentemente la diferencia de edad y nivel de instrucción en física. Este resultado implica formas de pensamiento común que se mantienen luego de la enseñanza, y confirma la coexistencia de concepciones alternativas y concepciones científicas enlazadas por procesos de razonamiento condicional, influenciadas por el contexto de las situaciones usadas en el planteamiento de las preguntas realizadas a los estudiantes (Palmer, 2002).

Así, concluimos la presentación resumida de los trabajos empíricos sobre el aprendizaje y la enseñanza del concepto de campo. Al final de esta sección, en la Tabla 2.1, se presenta una síntesis de los artículos revisados considerando los objetivos, metodología y resultados obtenidos.

2.5. CONCLUSIONES

En primer lugar, el análisis de las investigaciones referidas en este capítulo nos permite decir que el aprendizaje del concepto de campo electromagnético, se identifica que sólo pocos estudiantes construyen y activan representaciones mentales del campo electromagnético que les permiten explicar y predecir situaciones físicas desde esa perspectiva (Greca y Moreira, 1997; 1998; Borges y Gilbert, 1998). Luego, si el aprendizaje conceptual de una teoría física implica por parte del aprendiz, la generación de modelos mentales y construcción de esquemas de asimilación para las situaciones descritas y previstas por la misma, entonces, resulta que el tipo de enseñanza sobre el concepto de campo, altamente formal y matemático en el nivel universitario, lleva a los estudiantes a usar representaciones proposicionales aisladas, no articuladas en modelos y esquemas, como fórmulas y definiciones que no les permiten dar explicaciones y hacer predicciones (Greca y Moreira, 2000).

La demanda de aplicación de conceptos de mecánica, en situaciones de movimiento de partículas cargadas en campos electromagnéticos, activa en los estudiantes representaciones alternativas de los conceptos de la mecánica, en lugar de representaciones científicas, supuestamente ya asimiladas a través de la enseñanza formal (Galili, 1995). La mayoría de los estudiantes no alcanza a establecer diferencias conceptuales entre los conceptos de fuerza y campo eléctrico (Furió y Guisasola, 1998a, 1998b).

Los estudiantes, cuando son enfrentados a situaciones o tareas de aplicación del concepto de campo eléctrico, usan formas de razonamiento (Viennot y Ranson, 1992; 1999; Viennot, 2002) que responden más bien, a la activación de representaciones de aprendizaje implícito (Pozo y otros, 1992; Pozo, 1999). Por ejemplo, se observan dificultades de comprensión del principio de superposición del campo eléctrico, que parecen evidenciar la ausencia de representaciones o concepciones científicas del concepto de campo.

La coexistencia de concepciones múltiples, alternativas y científicas del campo gravitatorio, en situaciones de movimiento de partículas en dicho campo (Palmer, 2002), parece evidenciar la activación conjunta de representaciones de conocimiento implícito y explícito (Pozo y otros, 1992), ligadas fuertemente al contexto impuesto por las condiciones iniciales de los movimientos incluidos en las tareas propuestas a los estudiantes. En algunas situaciones de movimiento se observa en las respuestas coherencia entre el conocimiento explicitado y las concepciones científicas. Sin embargo, si se modifican las condiciones iniciales de los movimientos, se evidencia en las respuestas la activación de concepciones alternativas características de conocimiento implícito (Palmer, 2002).

Tabla 2.1: Síntesis descriptiva de investigaciones educativas sobre el concepto de campo²

1	<p>I. <i>Viennot, L. y Ranson, S. International Journal of Science Education, 1992, 14 (4), 475-487 pp.</i></p> <hr/> <p>II. Investigar ideas de los estudiantes acerca del principio de superposición del campo eléctrico, y los posibles obstáculos para el uso correcto de este principio.</p> <hr/> <p>III. Diferentes muestras de estudiantes universitarios en Francia y Argelia (Cuestionario 1). Tres grupos de estudiantes de nivel universitario de Francia. <i>Grupo 1</i>, estudiantes de primer año con un curso de electrostática. <i>Grupo 2</i>, de segundo año con un curso de electrostática sin incluir un capítulo de dieléctricos. <i>Grupo 3</i>, de segundo año con un curso de electrostática incluyendo un capítulo de dieléctricos. (Cuestionarios 2 y 3).</p>
---	--

² I: Autor, año, periódico; II: Objetivos; III: Sujetos; IV: Instrumentos y/o metodología; V: Resultados; VI: Conclusiones.

-
- IV. Tres cuestionarios de lápiz y papel
Cuestionario 1: De aplicación del principio de superposición de campos eléctricos y ley de Gauss, para el cálculo del campo al interior de una esfera aisladora con una densidad de carga uniforme rodeada por una densidad de carga desconocida.
Cuestionario 2 y 3: Sobre campos eléctricos y aisladores.
En el cuestionario 2, se pregunta si una carga puntual externa crea un campo eléctrico al interior de un cuerpo aislador.
En el *cuestionario 3*, se pregunta si una carga puntual ubicada en el interior de un cuerpo aislador crea un campo en un punto exterior al cuerpo.
-
- V.
 - 80% respuestas incorrectas en ambas muestras. Estas evidencian un mal uso de la ley de Gauss, e incompreensión del comportamiento del campo eléctrico en un material aislador.
 - Entre un 44 % y un 19% de respuestas incorrectas de las muestras explican que una carga no puede crear un campo eléctrico al interior de un aislador.
 - Entre un 25 % y un 14 % de respuestas incorrectas explican que no existe campo porque en un aislador las cargas están inmóviles.
 - En los cuestionarios 2 y 3 el porcentaje de explicaciones correctas y sin ambigüedades es menor que el tercio para las respuestas correctas. Un importante porcentaje de respuestas correctas explican la existencia del campo en un punto ligada a la presencia necesaria de cargas en ese punto.
-
- VI. Presencia de un razonamiento causal lineal, donde la influencia simultánea de varios factores, es tratada como una secuencia de eventos causales. Los estudiantes parecen dotar a la carga encerrada por una superficie gaussiana de un tipo de causalidad exclusiva; niegan y no usan el principio de superposición en sus respuestas. La siguiente idea parece influir en el razonamiento de los estudiantes: si un cuerpo es un aislador, no puede existir un campo eléctrico, el campo se bloquea en su interior o en el borde del cuerpo.
-
- 2 I. ***Galili, I. International Journal of Science Education, 1995, 17 (3) ; 371-387 pp.***
-
- II. Identificar e interpretar algunas dificultades específicas de estudiantes secundarios y nivel superior al estudiar electromagnetismo, bajo la hipótesis que los errores parecen estar relacionados con las concepciones alternativas de la mecánica. Se plantea como una investigación diagnóstica de aplicación de conceptos de mecánica en el movimiento de cargas en campos electromagnéticos.
-
- III. 4 grupos testeados después de la instrucción de un curso de electricidad y magnetismo.
Grupo 1: 14 alumnos de 17-18 años (high school)
Grupo 2: 55 alumnos 17-18 años (colegio)
Grupo 3: 19 alumnos 16-17 años (11° grado)
Grupo 4: 28 estudiantes de 4° profesorado (25-30 años) con formación orientada a la electrónica.
-
- IV. Prueba de lápiz y papel con tareas de diferente nivel y dificultad cualitativa presentada en forma aleatoria.
Tarea 1. Se pide la trayectoria de una carga negativa colocada en el campo eléctrico de una carga puntual positiva.
Tarea 2. Se pide identificar el diagrama correcto que representa la abertura angular de un conjunto de péndulos cargados positivamente.
Tarea 3. Se pide identificar cada una de las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo para una configuración de una carga puntual positiva encerrada por una esfera conductora frente a una carga positiva.
Tarea 4. Identificar las fuerzas sobre cada elemento para una carga puntual colocada entre las placas de un condensador plano, identificar la fuente de energía cinética y explicar el papel del campo eléctrico.
Tarea 5. Identificar las fuerzas sobre cada componente, y aplicar la tercera ley de Newton y describir el papel del campo magnético, en la situación de una barra conductora moviéndose en un campo magnético uniforme.
-
- V.
 - Tarea 1: La mayoría de los estudiantes dibuja una trayectoria rectilínea dirigida a la carga, o una trayectoria paralela a la línea de fuerza.
 - Tarea 2: Un tercio de los estudiantes identifica un desplazamiento angular simétrico, un tercio no responde y el otro tercio responde incorrectamente.
 - Tarea 3: La mayoría de los estudiantes responde incorrectamente con fuerzas simétricas, no incluye interacción entre las cargas, o una interacción reducida. 7 % responde con simetrías
-

-
- que incluye las correctas y ausencia de fuerzas sobre las caras interna o externa del cascarón.
- Tarea 4 y 5: Los estudiantes evidencian incredulidad de que las interacciones aprendidas en mecánica mantengan su forma en electromagnetismo. Explican que el campo incrementa la energía cinética de una carga a expensas de su intensidad, pero no comprenden la necesidad de un agente externo como una fuente de energía.
-
- VI. La aplicación de los conceptos, leyes y principios de la mecánica en el movimiento de cargas en campos electromagnéticos, dificulta la enseñanza del electromagnetismo; en particular, las relaciones entre fuerza y movimiento, y entre trabajo y energía.
Introducir el concepto de campo desde su definición operacional, afecta la comprensión y evidencia problemas de aprendizaje de la mecánica, quizás por el cambio en el tratamiento de la interacción.
Se propone introducir cambios en la enseñanza tales como: discusiones sobre la evolución histórica del concepto de campo; usar preguntas cualitativas de situaciones físicas simples; introducir el concepto de campo durante la enseñanza de la mecánica; introducir este tópico como una parte del curriculum y entrenamiento de los profesores.
-
- 3 I. **Greca, I. y Moreira, M. *International Journal of Science Education*, 1997, 19 (6); 711-724 pp.**
-
- II. Investigar el nivel de representación que operan los estudiantes en relación al concepto de campo electromagnético cuando resuelven problemas y cuestiones, bajo la teoría de Johnson-Laird. Las representaciones a identificar son: representaciones proposicionales, imágenes y modelos mentales.
-
- III. 50 estudiantes de Ingeniería de 2º año observados durante 2 semestres.
1º semestre, estudio piloto. 2º semestre, la investigación
-
- IV. Problemas y cuestiones propuestas como tareas instruccionales de aula.
Anotaciones, pruebas, exámenes, mapas conceptuales, entrevistas.
-
- V. *Estudio piloto*
Se identifican 2 categorías de estudiantes:
Categoría A: Alumnos que construyen modelos; se dividen en 2 subcategorías, proposicionales y analógicos. *Categoría B*: No construyen modelos; se dividen en 3 categorías intermedias--no construyen modelos y que sólo utilizan algunas imágenes.
Investigación
Se determinan 6 categorías de alumnos con las siguientes características:
3 categorías de alumnos que no forman un modelo físico del concepto de campo electromagnético; 1 categoría de transición de alumnos que desarrollan algún modelo mental físico del concepto aunque no siempre es correcta científicamente; 2 categorías de alumnos que construyeron un modelo mental físico del concepto.
-
- VI.
 - Las representaciones mentales definidas por Johnson-Laird son importantes para describir el aprendizaje de la física.
 - Si las personas razonaran a partir de modelos mentales sería posible reinterpretar el movimiento de concepciones alternativas y cambio conceptual.
 - La construcción de un nuevo modelo de trabajo que estaría en parte anclado en sus modelos antiguos.
 - Los modelos intuitivos pueden ser un modelo hipotético del mundo construido para interpretar la realidad, y el modelo científico compartido será otro de ellos, existiendo una diseminación de modelos.
 - Es preciso que un alumno comprenda las teorías científicas como un modelo diferente al suyo de ver el mundo, con reglas propias, operaciones y conceptos.
-
- 4 I. **Greca, I. y Moreira, M. *Enseñanza de las Ciencias*, 1998, 16 (2); 289-303 pp.**
-
- II. Ensayar una categorización introductoria para detectar el tipo de representación mental de alumnos de 1er año universitario al resolver y responder cuestiones de electricidad y magnetismo bajo el marco de la teoría de modelos mentales de Johnson-Laird.
-
- III. 25 alumnos de un curso de Física General para Ingeniería que estudian por primera vez el concepto de campo electromagnético, con clases de sesión expositiva y de trabajos prácticos en grupo que contienen problemas, preguntas y cuestiones teóricas.
-

-
- IV. Anotaciones de campo, trabajos prácticos y evaluaciones. Análisis de datos desde una perspectiva cualitativa para determinar el nivel representacional de los alumnos.
-
- V. Se determinan 6 categorías de alumnos con las siguientes características:
3 categorías de alumnos que no forman un modelo físico del concepto de campo electromagnético. 1 categoría de transición de alumnos que desarrollan algún modelo mental físico del concepto aunque no siempre es correcta científicamente. 2 categorías de alumnos que construyeron un modelo mental físico del concepto.
-
- VI. • Las representaciones mentales definidas por Johnson-Laird son importantes al hacer y aprender física. Si las personas razonan a partir de modelos mentales sería posible reinterpretar el movimiento de concepciones alternativas y cambio conceptual. Esto implicaría la construcción en los estudiantes de un nuevo modelo de trabajo que estaría en parte anclado en sus modelos antiguos. Los modelos intuitivos pueden ser un modelo hipotético del mundo construido para interpretar la realidad, y el modelo científicamente compartido sería otro de ellos, existiendo una diseminación de modelos.
• Es preciso que el alumno comprenda las teorías científicas como un modelo diferente al suyo, como una forma de ver el mundo con reglas propias, operaciones y conceptos.
• Los estudiantes deben aprender el marco conceptual de la teoría generando una representación interna del mismo.
-
- 5 I. **Furió, C. y Guisasaola, J. Enseñanza de las Ciencias, 1998 (a), 16 (1); 131-146. Science Education, 1998 (b), 82, 511-526 pp.**
-
- II. Analizar dificultades de aprendizaje del concepto de carga y campo electrostático. Analizar si existe paralelismo entre las dificultades de aprendizaje y los problemas epistemológicos que hubo que superar en la historia del electromagnetismo.
-
- III. 268 alumnos secundarios y universitarios. 2º BUP (15-16 años): 31. 3º BUP (16-17 años) : 61
COU (17-18) : 60. 1º Univ : 60. 3º Univ : 64
-
- IV. Aplicación a 268 alumnos de un cuestionario de 8 preguntas abiertas de interpretación, explicación de fenómenos relacionados con cuerpos cargados, inducción, polarización, jaula de Faraday, y la evaluación de su aprendizaje.
Entrevista estructurada a 24 alumnos de explicación de 2 experimentos que se les presenta.
-
- V. • La mayoría de los alumnos asume una naturaleza eléctrica de la materia, y explica los fenómenos usando un modelo hidrostático de carga eléctrica y conocimiento procedimental de sentido común.
• La mayoría de los estudiantes no utiliza el concepto de campo eléctrico para explicar fenómenos como la inducción, polarización y jaula de Faraday.
• Sólo un mínimo de los estudiantes universitarios evidencian comprensión y aplicación significativa del concepto de campo para explicar fenómenos electrostáticos.
-
- VI. Muy pocos estudiantes de enseñanza secundaria y universitaria utilizan de forma significativa el concepto de campo eléctrico.
No establecen una diferencia entre los conceptos de campo y fuerza eléctrica, y en situaciones que requieren una aplicación significativa del concepto de campo los porcentajes de respuestas erróneas aumenta.
Se confirma que parece existir un paralelismo entre los problemas de aprendizaje y los problemas epistemológicos históricos de construcción de la teoría.
-
- 6 I. **Borges, A. y Gilbert, J., International Journal of Science Education, 1998,20 (3); 361-378 pp.**
-
- II. Identificar modelos mentales que usan las personas para pensar acerca del magnetismo y las relaciones entre electricidad y magnetismo.
-
- III. 56 sujetos distribuidos en:
Estudiantes (15 años) de 1º secundaria, sin estudios en el tema: 9
Estudiantes (18 años) de 3º secundaria, con estudio previo de un año en el tema: 9.
Estudiantes (18 años) de 3º enseñanza técnica, con estudio previo de un año en el tema: 10.
Profesores de física de escuelas secundarias: 11
Técnicos con estudios no formales en el tema: 10
Ingenieros eléctricos: 7
-

- IV. Entrevistas semiestructuradas que involucran situaciones de electricidad, magnetismo y electromagnetismo, construidas en torno a una secuencia de predicción, observación y explicación
- V. Se identifica la construcción de 5 modelos de magnetismo con las siguientes características:
- Modelo A: magnetismo como atracción. El magnetismo es visto como una atracción ejercida sobre los objetos en la región que rodea a un imán, como una propiedad intrínseca de los imanes. Este modelo tiene muy poco poder explicatorio y predictivo.
 - Modelo B: Magnetismo como una nube. El magnetismo es una nube con una esfera de influencia alrededor de un imán. Este modelo se parece mucho a la idea de campo de fuerzas usado en historietas de ciencia-ficción e intenta explicar alguna causalidad en las situaciones observadas.
 - Modelo C: Magnetismo como electricidad. El magnetismo es visto como fenómeno entre cargas eléctricas fuertemente ligado a la atracción y repulsión entre cargas.
 - Modelo D: Magnetismo como polarización eléctrica. Los fenómenos son explicados asumiendo que un imán está formado por un arreglo de pequeños dipolos eléctricos.
 - Modelo E: Modelo de campo. Es un agregado de los modelos B, C y D. El magnetismo es la manifestación macroscópica del fenómeno microscópico de partículas eléctricas en movimiento en los átomos (microcorrientes), o la existencia de imanes elementales (dipolos magnéticos permanentes en el interior del material).
- VI. La gente construye modelos mentales simples en acuerdo con sus conocimientos del mundo físico.
La expansión del conocimiento en un dominio es por asimilación y acomodación del nuevo conocimiento en modelos más sofisticados.
Los diferentes modelos de magnetismo construidos por los estudiantes son una evidencia de los efectos de la instrucción.
El alto número de respuestas explicativas del magnetismo en términos de electricidad podría estar en las personas que tienen un mayor número de experiencias directas con la electricidad que con el magnetismo, lo que puede ser un indicador de la influencia cultural en la construcción de modelos mentales.
-

- 7 I. **Viennot, L. y Rainson, S. *International Journal of Science Education*, 1999, 21 (1) ; 1-16 pp.**
- II. Presentar el diseño y evaluación de una secuencia de enseñanza del principio de superposición del campo eléctrico.
La secuencia se diseña sobre la base de dos estudios interrelacionados: Un análisis de contenido de dominio y una investigación de formas de razonamiento común.
- III. 1837 estudiantes de Francia, Suecia y Argelia, agrupados en cuatro muestras de diferentes niveles académicos, desde 11° grado a los últimos años universitarios.
- IV. 10 entrevistas preliminares.
Cuestionarios de lápiz y papel.
La investigación se realizó con siete cuestionarios.
- V. De la aplicación de la estrategia de enseñanza, se identifican 2 problemas principales:
Dificultad de aceptar la existencia de un campo eléctrico en un medio donde las cargas están inmóviles. Ignorar las fuentes del campo eléctrico que no están representadas explícitamente en una fórmula matemática que exprese el campo.
- VI. La causalidad en el razonamiento parece no ser la única fuente de dificultad en la comprensión de los estudiantes, sino también el contenido y el formalismo matemático sintético.
Solo cuando los aspectos causales han sido enfatizados en la enseñanza se observa progresos en la comprensión del principio de superposición y su influencia en diversos fenómenos.
Se concluye que las técnicas para evaluación multidimensional sean discutidas mejoradas y más usadas.
-

- 8 I. **Greca, I. y Moreira, M. *International Journal of Science Education*, 2000, 22 (1); 1-11 pp.**
- II. Revisar los conceptos de modelo mental, modelo conceptual y modelación.
Proporcionar un punto de vista de lo que son estos conceptos en el contexto de la psicología cognitiva y el aprendizaje, y cómo pueden ser usados en la investigación en educación en ciencias.
-

-
- III. No tiene una muestra en particular.
-
- IV. Revisión en profundidad de la teoría de representaciones mentales, y de cómo las personas se representan el mundo físico.
-
- V. Presentación de una fundamentada distinción entre el enfoque teórico de Johnson-Laird de los modelos mentales, y los modelos de Gentner y Stevens de aproximación instruccional.
La teoría de Johnson-Laird ofrece una descripción unificada y explicativa de fenómenos cognitivos tales como, razonamiento deductivo y comprensión del discurso. A diferencia de otros autores que focalizan su atención en fenómenos físicos particulares, dispositivos mecánicos y/o tecnológicos que desarrollan las personas sin intentar una representación y teoría unificada de ellos.
-
- VI. Los modelos mentales permiten entender la resistencia al cambio de las concepciones previas, ya que éstas, ayudan a explicar grupos de fenómenos y visualizarlos como similares.
Por su carácter funcional, si los modelos iniciales son útiles, su modificación como un reemplazo total de una concepción por otra no es una tarea simple.
Por el carácter idiosincrático de los modelos mentales, la modelación puede ser un camino adecuado para el aprendizaje significativo en ciencias.
Los modelos mentales son una vía interesante para investigar heurísticas de imágenes y simulaciones mentales en procesos de creación y comprensión de teorías científicas, y también presentan un potencial pedagógico.
-
- 9 I. **Furió, C. y Guisasola, J. Enseñanza de las Ciencias, 2001, 19 (2) ; 319-334 pp.**
-
- II. Presentar una propuesta de enseñanza, basada en el modelo de aprendizaje como investigación orientada para superar dificultades de enseñanza y aprendizaje del concepto de campo eléctrico.
Las dificultades de enseñanza a superar son evidencias de resultados de investigaciones sobre concepciones alternativas de los estudiantes.
-
- III. 2 Grupos experimentales de 28 y 30 alumnos de 17 años, de 1º de Bachillerato, asistidos por 2 profesores externos a la investigación, expertos en programas de actividades, y su vez, tutelados por los autores de la investigación.
2 grupos de control de 64 alumnos que estudiaron el mismo curso mediante transmisión verbal de conocimientos elaborados en clases.
-
- IV. *Grupo experimental:* Desarrollo de un programa de actividades de aprendizaje como investigación, sobre los conceptos y teoría de carga y campo electrostático.
Grupo control: Clases expositivas y uso de texto.
Pruebas escritas de interpretación de diferentes situaciones problemáticas planteadas a los grupos de trabajo y grabación de la discusión de los alumnos en los grupos de trabajo.
Cuestionario de 4 items para comparar aprendizaje conceptual logrado por los grupos experimentales y de control.
Cuestionario de tipo actitudinal para evaluar la valoración de los alumnos del grupo experimental de la enseñanza recibida.
-
- V. La gran mayoría de los grupos de trabajo (9 de 12) interpreta correctamente una situación problemática de inducción. 7 grupos utilizan en su explicación el concepto de campo eléctrico y 2 utilizan el modelo de acción a distancia.
Los resultados del análisis comparativo entre las respuestas al cuestionario de aprendizaje conceptual apoyan la mejora del aprendizaje del concepto de campo eléctrico con la propuesta de enseñanza y aprendizaje.
El cálculo del estadístico χ^2 para el grupo control y el resultado más desfavorable de los grupos experimentales muestra que las diferencias son significativas entre los grupos.
Los estudiantes de los grupos experimentales muestran satisfacción con los contenidos y la forma de trabajo.
-
- VI. La aplicación de una instrucción como una investigación orientada, permite a los estudiantes una mayor asimilación de ideas significativas en un porcentaje mayor que los alumnos que reciben una enseñanza transmisiva.
Los estudiantes de los grupos experimentales presentan una mejora en la forma de plantear y razonar las situaciones problemáticas en base al concepto de campo eléctrico, y en la aplicación del concepto obtienen resultados correctos que duplican a los del grupo control, con diferencias estadísticamente significativas.
-

- 10 I. **Martín, J. y Solbes, J. Enseñanza de las Ciencias, 2001, 19 (3) ; 393-403 pp.**
-
- II. Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en educación secundaria, basada en un análisis de resultados de investigaciones previas sobre las dificultades de enseñanza.
La propuesta se configura en una metodología de aprendizaje por investigación dirigida que se concreta en un programa de actividades.
-
- III. 51 alumnos de COU y 48 de 2º de BUP, alumnos de los autores de la investigación.
65 alumnos de COU de otros profesores pertenecientes a diferentes localidades.
La población de alumnos se separa en grupos experimental y control.
-
- IV. 2 programas de actividades. nivel I elemental (4º ESO) y Nivel II superior (Bachillerato).
Los programas contienen actividades orientadas a la introducción del concepto de campo (gravitatorio y eléctrico), y presentación de éste concepto como agente de la interacción, dotado de realidad física, energía y momentum.
Aplicación de un cuestionario a los grupos de control y experimentos al inicio y término del experimento.
-
- V.
 - Los alumnos del grupo experimental en relación con el grupo control adquieren una imagen del concepto de campo más cercana a la concepción científica que se evidencia en porcentajes altos de respuestas correctas.
 - Reconocen la necesidad de introducir el concepto de campo para explicar la interacción entre dos cuerpos, y reconocen ventajas para explicar la naturaleza de las ondas electromagnética.
 - Mejoran su interpretación de los aspectos energéticos de la interacción entre cuerpos usando el concepto de campo.
-
- VI. La utilización en el aula de programas de actividades mejora el aprendizaje de los conceptos de campo gravitatorio y eléctrico.
Se interpretan las dificultades en el aprendizaje y comprensión del concepto de campo gravitatorio y electromagnético como una consecuencia de un tratamiento didáctico deficiente y confuso.
-
- 11 I. **Palmer, D. International Journal of Science Education, 2001, 23 (7) ; 691-706 pp.**
-
- II. Identificar en estudiantes concepciones alternativas y concepciones aceptables científicamente sobre gravedad, e investigar su naturaleza y posibles relaciones entre ellas.
-
- III. 112 estudiantes de 6º y 10º grado de Australia.
56 alumnos de 6º grado entre 11-12 años, 56 alumnos 10º grado entre 15-16 años, todos de la misma ciudad.
-
- IV. Entrevistas individuales de 15 min en las que se pide a los alumnos explicar sus respuestas a 9 situaciones cotidianas relacionadas con el concepto de gravedad, y cómo decidieron sus respuestas.
La estructura de las entrevistas se determinó después de una experiencia piloto con grupos pequeños que no participaron en la investigación.
-
- V.
 - La mayoría de los estudiantes despliega ambos tipos de concepciones acerca de la gravedad, científicamente aceptables y concepciones alternativas.
 - El 29 % de estudiantes de 10º grado y el 11% de 6º grado evidencia únicamente concepciones científicamente consistentes acerca de la gravedad.
 - El 71 % de estudiantes de 10º grado y el 89 % de 6º evidencian concepciones múltiples, alternativas y científicamente correctas.
 - Las afirmaciones de los estudiantes en sus respuestas evidencian percepciones de relaciones entre gravedad y contexto.

Las principales concepciones identificadas de mayor frecuencia en orden decreciente son:

 1. La gravedad actúa hacia abajo sobre objetos en caída.
 2. La gravedad no actúa sobre objetos que se mueven verticalmente hacia arriba.
 3. La gravedad actúa hacia abajo sobre objetos en reposo.
 4. La gravedad no actúa sobre objetos en reposo.
 5. La gravedad actúa hacia arriba sobre objetos moviéndose hacia arriba.
 6. La gravedad actúa hacia abajo sobre objetos que se mueven verticalmente hacia arriba.
 7. La gravedad no actúa sobre objetos en caída, la caída se debe al peso.
-

-
- VI. La mayoría de las respuestas de los estudiantes, en ambos grados, fueron contextualmente dependientes de sus ideas acerca de la gravedad.
Se identifican concepciones alternativas en igual proporción en ambos grupos, lo que implicaría formas comunes de pensamiento en la población y gran sobrevivencia en la enseñanza de las ciencias.
Los resultados sugieren que existiría una relación entre las concepciones alternativas de los estudiantes y sus concepciones científicamente aceptables, enlazadas por procesos de razonamiento condicional de la forma “si... entonces”. Por ejemplo si un objeto está cayendo, entonces la gravedad está actuando, pero si está subiendo, entonces la gravedad no actúa, existiendo una relación crítica entre la condición y el contexto que les proporciona una coherencia interna aunque no científicamente aceptable.
-

2.6. APRENDIZAJE Y ENSEÑANZA DE CONCEPTOS CIENTÍFICOS

El conocimiento construido a partir de las investigaciones referidas, permite concluir que el papel de la enseñanza es fundamental, pues a través de la instrucción se intenta establecer una interacción entre los esquemas de los estudiantes y el campo conceptual del concepto de campo descrito científicamente.

Desde el punto de vista de la teoría de campos conceptuales de Vergnaud (1996), el aprendizaje significativo de los conceptos científicos se hace posible a través del proceso de mediación planteado por la teoría de Vygotsky, para quien la actividad humana está mediatizada por una parte, por la interacción social y por otra, por el uso de signos e instrumentos, siendo el más importante de éstos el lenguaje, puesto que el desarrollo de los procesos mentales superiores depende de la descontextualización y el lenguaje permite apartarse de referentes concretos; de este modo, la mediación hace posible el desarrollo de procesos mentales superiores (Riviere, 1994).

En este sentido, Vygotsky plantea que los conceptos científicos se distinguen de los cotidianos, en que los primeros tienen un mayor valor de generalidad y sus significados forman sistemas integrados, que se organizan y diferencian jerárquicamente. Se transmiten en instituciones de enseñanza a través de la acción intencionada de un docente y son un objeto de comunicación que se expresa a través de medios lingüísticos y otros medios simbólicos, como por ejemplo el espacio gráfico.

Por otra parte, Ausubel plantea que el aprendizaje de conceptos científicos en escolares y adultos ocurre principalmente a través del proceso de asimilación conceptual, descrito por la teoría del aprendizaje significativo. Las personas aprenden los significados de conceptos nuevos, mediante la presentación de los atributos de criterio que los definen.

El aprendizaje ocurre cuando la persona que aprende relaciona esos atributos con su estructura cognitiva.

Vergnaud, destaca la importancia de esta distinción entre conceptos cotidianos y científicos, pues la expresión de los últimos permite cambiar el estatuto cognitivo de los invariantes operatorios, de las reglas de acción, de los objetivos, de las anticipaciones y de las inferencias. En este marco, el docente tiene un papel de mediador planteando situaciones y problemas a través de instrumentos de mediación semiótica, como el lenguaje y los signos (Vergnaud, 1996).

Como ya se ha señalado, la mediación social y semiótica facilita el desarrollo cognitivo, y en particular dos tipos de procesos mentales superiores, explicados por la ley de la doble función, según la cual un proceso interpersonal queda transformado en otro intrapersonal, “En el desarrollo cultural del niño, toda función aparece dos veces: en un primer tiempo, a nivel social, y en un segundo tiempo, a nivel individual; en un primer tiempo, entre personas (interpsicológica) y en un segundo tiempo (intrapsicológica). Esto puede aplicarse de la misma manera a la atención voluntaria a la memoria lógica y a la formación de conceptos. Todas las funciones superiores encuentran su origen en las relaciones entre los seres humanos” (Vygotsky citado en Riviere, 1994), es decir, a través de la internalización se reconstruye internamente lo que se aprende en un proceso colectivo.

La relación existente entre desarrollo cognitivo y aprendizaje se explica a través del concepto de Zona de desarrollo próximo. Vygotsky planteaba que el aprendizaje se produce sólo cuando los instrumentos, los signos, los símbolos y las normas de los compañeros de interacción, pueden ser incorporados en función del nivel de desarrollo previo, es decir, el aprendizaje depende también del desarrollo potencial del sujeto; en este sentido, las habilidades de resolución de problemas que se aplican a la realización de tareas, pueden ubicarse en tres categorías: a) aquellas realizadas independientemente por el estudiante, referidas a funciones que ya han madurado; b) aquellas que no pueden realizarse aun con ayuda y, c) aquellas que caen dentro de estos dos extremos, las que pueden realizarse con la ayuda de otros, pues se encuentran en un proceso de maduración (Vygotsky, 1979). La zona de desarrollo próximo es la distancia entre el nivel real de desarrollo, determinado por la capacidad de resolver independientemente un problema, y el nivel de desarrollo potencial, determinado a través de la resolución de un problema bajo la guía de un adulto (docente) o en colaboración con otro compañero más capaz (Vygotsky, 1979).

Desde la perspectiva de Vygotsky, la participación en actividades culturales -como es la enseñanza- bajo la guía de personas más hábiles en el uso de las herramientas culturales, permite internalizar los instrumentos necesarios para pensar y acercarse a la resolución de problemas de un modo más efectivo que si se actuara individualmente. Coincidente con este enfoque, Ausubel plantea que, en la escuela, los conceptos científicos, son presentados a los estudiantes como definiciones y los atributos que los definen están implícitos en el contexto en que se usan. De este modo, la culminación de la adquisición de un concepto sería un aprendizaje significativo (subordinado, superordenado y combinatorio), que ocurre a través de la interacción entre lo que es presentado al estudiante y el conocimiento previo específicamente relevante.

Además, es necesario considerar que el desarrollo cognitivo está determinado y regulado por el desarrollo metacognitivo (control y regulación de los procesos cognitivos) y por la adquisición e internalización de utensilios de autorregulación, por ello la metacognición ocupa un papel central en el proceso de internalización de lo aprendido (Riviere, 1994). Aprender a resolver problemas requiere del desarrollo de estrategias de pensamiento para tomar decisiones sobre los conocimientos que se deben recuperar y vincularlos funcionalmente (Monereo, 1990); este sistema de control, supone procedimientos autorregulatorios, que permiten monitorear en forma conciente y deliberada, ciertos contenidos del pensamiento (Neto, 1998; Monereo y Castelló, 1997).

Las estrategias cognitivas se relacionan con la interacción entre el aprendizaje de nuevos conocimientos con el conocimiento previo. Las estrategias metacognitivas se refieren a la planificación, control y evaluación del estudiante de su propia cognición y mecanismos de aprendizaje, las cuales permiten establecer los parámetros de una tarea, localizar los errores, determinar las tácticas y métodos de intervención más apropiadas, controlar su aplicación y tomar decisiones ulteriores a partir de los resultados obtenidos (Mateos, 2001).

En el caso particular del aprendizaje significativo de conceptos científicos se ha constatado el papel relevante que desempeña el acceso, tanto al contenido sobre el que se aprende como a la manera en que se aprende (metacognición). Por ejemplo, los estudiantes que tienen mayor información sobre su propio aprendizaje y el propósito de la enseñanza son más capaces de reconocer, evaluar, y decidir la manera en que reconstruyen sus ideas acerca de contenidos de la física (Champagne y otros, 1985 citados en Gungstone, 1994).

Las ideas de mediación y metacognición tienen implicaciones para una situación de enseñanza, entendida ésta como una instancia de mediación, entre la zona de desarrollo

real y la zona de desarrollo próximo. Por una parte, es necesario proporcionar herramientas que constituyan una ayuda ajustada al nivel potencial de los estudiantes. Estas herramientas incluyen la guía del docente, la cultura, el lenguaje y sistemas de mediación semiótica, y el tipo y calidad de las mismas, determinará el alcance del desarrollo logrado por los estudiantes. Por otra parte, además es importante que el diseño de la enseñanza y el planteamiento de tareas y problemas planteen también objetivos metacognitivos para favorecer la internalización de los contenidos y la regulación de los propios procesos cognitivos.

Lo anterior, como ya se ha señalado, supone el uso de una estrategia que implica activar intencionalmente conocimientos conceptuales y procedimentales para alcanzar ciertas metas de acuerdo a un determinado plan, en ello están involucradas dimensiones referidas a las metas del aprendizaje, el grado de control y regulación, el nivel de incertidumbre de la tarea y la complejidad de la secuencia de acciones. Por tanto, una secuencia adecuada para la enseñanza supone una transferencia progresiva del control de la tarea del docente al estudiante, de modo que el aprendizaje se vuelva más autónomo, responsable (Mateos, 2001) y significativo.

En síntesis, se puede plantear que los antecedentes teóricos desarrollados en el presente capítulo, consideran el aprendizaje y la enseñanza del concepto de campo, desde el punto de vista de los contenidos de la Física y procesos cognitivos, lo cual se refleja mejor en la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, que incluye el contenido de los significados científicos a enseñar -campo conceptual del concepto de campo-, la estructura cognitiva del que aprende -esquemas- y las situaciones o contexto en el que ocurre el aprendizaje. Todos estos elementos se vinculan y articulan a través de la mediación social y semiótica presentes en la enseñanza, preferentemente a través del lenguaje y los símbolos que permiten la internalización de lo aprendido de un campo conceptual a lo largo del tiempo.

CAPÍTULO 3

OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA

El análisis e interpretación de los antecedentes teóricos y empíricos expuestos en los capítulos anteriores respecto a la formación de conceptos científicos y la conceptualización del concepto de campo, permitió formular las siguientes preguntas de la investigación, de las cuales se derivan los objetivos e hipótesis de esta tesis:

1. ¿Qué tipo de relaciones existen entre la estructura formal del conocimiento del concepto de campo y la estructura conceptual que construyen y usan estudiantes de universidad en un curso de electromagnetismo?
2. ¿Qué características tienen las representaciones de los conceptos pertenecientes al campo conceptual del concepto de campo, que poseen y construyen estudiantes de universidad de un curso de electricidad y magnetismo?
3. ¿Qué características sigue la pauta de progresividad del proceso de conceptualización y aprendizaje de los significados científicos de este campo conceptual?
4. ¿Qué elementos de estas representaciones facilitan y/o obstaculizan la comprensión de los significados del concepto de campo y la progresividad de su aprendizaje?
5. ¿Qué criterios orientarían y guiarían la elaboración de diseños de enseñanza que faciliten en los estudiantes el aprendizaje y comprensión de los significados del concepto de campo de acuerdo a las demandas del curriculum?

3.1. OBJETIVOS GENERALES

1. Diseñar y aplicar una metodología, para investigar y caracterizar vínculos entre la estructura del conocimiento del campo conceptual del concepto de campo y la estructura conceptual construida por los estudiantes, a partir del uso de los conceptos en situaciones planteadas en momentos diferentes del desarrollo de un curso universitario de electricidad y magnetismo.

2. Caracterizar e identificar las representaciones del campo conceptual del concepto de campo, que poseen y construyen los estudiantes por interacción entre su estructura conceptual y la información de las situaciones, en momentos diferentes del desarrollo de un curso.
3. Identificar dificultades en la progresividad del aprendizaje del campo conceptual del concepto de campo, y definir criterios para el diseño de propuestas de enseñanza de este campo conceptual.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos formulados para cada objetivo general son:

- 1.1. Diseñar instrumentos ad-hoc para la identificación y caracterización de las representaciones del campo conceptual del concepto de campo usados por los estudiantes, específicamente el campo electromagnético.
- 1.2. Realizar un estudio piloto para determinar la validez y confiabilidad de los instrumentos para su elaboración definitiva.
- 2.1. Identificar y caracterizar las representaciones del campo conceptual del concepto de campo construidos por estudiantes de un curso de electricidad y magnetismo de universidad, mediante el análisis del proceso de conceptualización y la determinación de niveles de conceptualización, al inicio, desarrollo y final del curso.
- 2.2. Describir y caracterizar la progresividad del aprendizaje de los estudiantes de un curso de electricidad y magnetismo, a partir del uso del concepto de campo, en diversas situaciones, en diferentes fases del proceso de conceptualización.
- 3.1. Identificar elementos facilitadores y obstaculizadores para la comprensión, adquisición y dominio del campo conceptual del concepto de campo presentes en los esquemas construidos por los estudiantes.

- 3.2. Definir criterios para la elaboración de diseños de enseñanza que faciliten, a los estudiantes, el desarrollo y dominio progresivo del campo conceptual del concepto de campo de acuerdo a las demandas del currículo.
- 3.3. Bosquejar un diseño de enseñanza diferenciado por niveles de conceptualización para un aprendizaje significativo progresivo del concepto de campo electromagnético.

3.3. HIPÓTESIS

La hipótesis general de esta investigación es: *“cuando un estudiante se enfrenta a un referente con situaciones (tareas y problemas) que dan sentido al concepto de campo, esa información interactúa con la estructura de conocimientos-en-acción (invariantes) de los esquemas que cada estudiante dispone”*. Por consiguiente, su comportamiento y sus respuestas serán una aproximación a su estructura conceptual y variarán de acuerdo con el nivel de desarrollo conceptual de cada estudiante. Poniéndose de manifiesto aspectos de su comprensión del concepto de campo, lo cual posibilita, identificar significados de este campo conceptual, ya sean, científicamente correctos, alternativos o ausencia de ellos.

Esta hipótesis incluye los siguientes supuestos:

Aparecerán comportamientos y respuestas sobre conceptos del campo conceptual del concepto de campo tales como: escalar, vector, función, flujo, circulación, etc., con una estructura de representaciones simbólicas y pictóricas, que dan forma a los invariantes operatorios que utilizan los estudiantes y que representan significados que ellos atribuyen a los conceptos de este campo conceptual, en acuerdo o desacuerdo con los significados científicamente correctos.

La información proporcionada sobre los conceptos del campo conceptual del concepto de campo, durante el proceso de enseñanza, no induce de modo automático a una comprensión de los significados de estos conceptos, sino ha ocurrido una interacción entre esa información y la estructura conceptual de cada estudiante. Esta interacción se produce

de modo diferente, según los invariantes operatorios de los esquemas que cada estudiante dispone en cada momento de su desarrollo del campo conceptual del concepto de campo.

3.4. JUSTIFICACION DEL DISEÑO

Tal como señalamos en los capítulos precedentes, se decidió utilizar como base teórica de esta investigación la *Teoría de los campos conceptuales* de Gerard Vergnaud, debido a su potencial para investigar los vínculos entre la estructura del conocimiento del campo conceptual de conceptos científicos y la estructura conceptual construida por quienes se enfrentan al aprendizaje de los mismos.

Para poder cumplir con el propósito anterior, fue necesario realizar un trabajo previo de operacionalización y aplicación de esta teoría a un concepto específico de la Física. Para ello escogimos el concepto de campo, y en lo que constituyó el trabajo de investigación para la obtención del Diploma en Estudios Avanzados, construimos el campo conceptual del concepto de campo, cuya descripción presentamos en el apartado siguiente. Por otra parte, para desarrollar la presente investigación, escogimos estudiar la progresión de la adquisición de este concepto por parte de los estudiantes de una asignatura específica, para lo cual se debió construir el campo conceptual de la misma. Al mismo tiempo, fue necesario organizar la enseñanza de modo coherente con este enfoque teórico, que además permitiera ir realizando la correspondiente toma de datos. En los apartados siguientes damos cuenta detalladamente de estos aspectos.

3.4.1. CAMPO CONCEPTUAL DEL CONCEPTO DE CAMPO EN FÍSICA

Con el propósito de articular la teoría de campos conceptuales con la estructura formal de los significados del concepto de campo construidos por la física, se presenta en esta sección, según una interpretación de la teoría de Vergnaud, el campo conceptual del concepto científico de campo. Según una interpretación de la teoría de Vergnaud, el campo conceptual del concepto científico de campo, construido a partir de la física tendría por elementos:

$$C_{campo} = \{ S, I; R \}$$

Donde, $S = \{ FF \}$, es un conjunto de situaciones, que incluye fenómenos y problemas físicos (FF) que describen y dan sentido al concepto de campo en algún dominio específico de la física, como la mecánica, electromagnetismo, relatividad, otros. Por ejemplo, en mecánica, las relaciones entre fuerzas conservativas y energía potencial; en electromagnetismo, gravitación y relatividad la interacción entre partículas y campo; o en mecánica de fluidos y conducción del calor, situaciones que describen el comportamiento de magnitudes físicas como la velocidad, densidad de corriente, flujo de calor, u otras magnitudes que se distribuyen en el espacio y evolucionan o permanecen estacionarias en el tiempo.

$I = \{ I(FF) \cup I(OM) \}$, es un conjunto de invariantes operatorios físicos $I(FF)$ e invariantes matemáticos $I(OM)$, científicamente aceptados, que se aplican a las situaciones, (problemas, fenómenos, objetos matemáticos), que mediante sus propiedades, relaciones y transformaciones dan significado al concepto de campo.

El conjunto de invariantes físicos $I(FF)$, tiene por elementos las operaciones y propiedades que se relacionan con magnitudes físicas tales como: posición, velocidad, aceleración, masa, fuerza y carga, más otro conjunto de magnitudes y propiedades que se derivan o relacionan de éstas, tales como trabajo, energía, campo eléctrico, campo magnético, potencial, flujo magnético, circulación, otras. Las propiedades de las operaciones físicas son: los principios y leyes físicas expresadas en términos de las operaciones y propiedades de los objetos matemáticos. Por ejemplo, en el caso de la mecánica clásica son los Principios de Newton, o sea, los principios de inercia, de acción y reacción, la ecuación de movimiento y el principio de superposición de fuerzas. Además, los teoremas del impulso y momentum; del trabajo y energía; las relaciones entre fuerza y energía potencial y las leyes de conservación del momentum lineal, momentum angular y energía mecánica. En el caso del electromagnetismo, las leyes de Gauss, de Ampère y Faraday, o sea, las ecuaciones de Maxwell. Además, las ecuaciones de continuidad de conservación de la carga, y las leyes de conservación de la energía asociada al campo electromagnético.

El conjunto de invariantes matemáticos $I(OM)$, tiene por elementos los significados matemáticos 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 entre vectores, y producto vectorial entre vectores. Las propiedades del álgebra vectorial, se refieren a propiedades de las operaciones que definen un espacio vectorial, es decir, para la adición las propiedades: conmutativa, asociativa, elemento identidad y elemento inverso; 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 elemento identidad. Las principales operaciones del cálculo 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.

$R = \{ R[FF \cup I(FF) \cup I(OM)] \}$, es el conjunto de representaciones simbólicas y pictóricas usadas en las situaciones (problemas y fenómenos). Además, las representaciones simbólicas de los invariantes operatorios físicos $I(FF)$ y matemáticos $I(OM)$ y sus propiedades, tales como, representaciones de principios y leyes físicas, representaciones de operaciones matemáticas y sus propiedades expresadas mediante representaciones geométricas de flechas, representaciones analíticas de componentes; representaciones proposicionales de ecuaciones, gráficas y pictóricas de tablas; diagramas de flechas, líneas de fuerza, superficies y curvas de nivel de los conceptos de función, campo escalar y campo vectorial.

Todas estas representaciones simbólicas y pictóricas representan significantes del campo conceptual del concepto de campo construidos por la física y matemática, que facilitan a las personas hacer la distinción fundamental entre signifiante y significado, que es de la mayor importancia para el aprendizaje de conocimientos científicos, ya que los invariantes operatorios de los estudiantes se sitúan en el plano de los significados del concepto de campo (Vergnaud y otros, 1981). Sin embargo, los significados de los estudiantes, no siempre coinciden con los significados científicos y se manifiestan en el pensamiento y comunicación con una explicitación simbólica o pictórica parcial mediante imágenes, dibujos, álgebra, cálculo, lenguaje natural.

En consecuencia, los invariantes operatorios del concepto de campo son los elementos teóricos claves, que permiten mejorar las relaciones de conocimientos entre la estructura cognitiva de un estudiante y la realidad. Los invariantes operatorios median el rol de la actividad representacional y su acción sobre la realidad, como también, las formas

de organización y estructuración de los diferentes conceptos del campo conceptual del concepto de campo y los criterios de adquisición de sus significados.

Como señalamos anteriormente y a partir de la descripción del campo conceptual del concepto de campo ya presentada, se diseñó el tipo de estudio a realizar, cuyas características centrales describimos en el apartado siguiente.

3.5. DISEÑO

La investigación realizada en esta tesis, corresponde a un estudio de tipo descriptivo, que tiene como objetivo principal el diseño y aplicación de una metodología de investigación para la descripción y caracterización de vínculos entre la estructura del conocimiento del campo conceptual del concepto de campo electromagnético y la estructura conceptual que construyen un grupo de estudiantes, en un curso de universidad de *Electricidad y Magnetismo* de un semestre de duración. En cuanto a la evolución, la investigación es de carácter longitudinal de corto plazo (Bisquerra, 1989) debido a la recolección y análisis de datos, en cinco eventos de investigación definidos para el semestre; esto dio origen a cinco estudios los cuales se expondrán detalladamente en los capítulos que dan cuenta de los resultados de esta investigación. Todo lo anterior, permitió describir y caracterizar la progresividad en los procesos de aprendizaje y adquisición del campo conceptual.

3.5.1. DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DE LA ASIGNATURA *ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO*

La asignatura de *Electricidad y Magnetismo* es una asignatura teórica del currículum de las carreras de Ingeniería de la Universidad de La Frontera, que inicia a los estudiantes en el estudio formal del electromagnetismo. Se presentan y enseñan los conceptos y leyes fundamentales del electromagnetismo, a un nivel matemático intermedio y aplicación del cálculo. Los objetivos de esta asignatura apuntan al desarrollo de competencias en física, de comprensión y análisis de situaciones que involucran aplicación de significados aprendidos de electromagnetismo.

Objetivos

- Describir y cuantificar las interacciones eléctricas aplicando la ley de Coulomb para distribuciones puntuales y continuas de carga.
- Formular, analizar y aplicar el modelo de campo a las interacciones eléctricas y magnéticas estáticas.
- Describir, analizar y aplicar el modelo de campo a las interacciones eléctricas y magnéticas dependientes del tiempo.
- Aplicar conceptos y leyes de la electricidad y magnetismo en la resolución de problemas y discusión de sus resultados.
- Aplicar conocimientos y métodos de la electricidad y magnetismo en el abordaje de situaciones y problemas de su especialidad.

3.5.2. CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA Y CAMPO CONCEPTUAL

Los contenidos de la asignatura se estructuran en torno a las siguientes unidades de contenidos: unidad 1: carga y fuerza eléctrica; unidad 2: campo eléctrico; unidad 3: Ley de Gauss; unidad 4: potencial eléctrico; unidad 5: capacidad; unidad 6: corrientes estacionarias; unidad 7: fuerza magnética; unidad 8: campo magnético y unidad 9: inducción electromagnética.

De acuerdo a la interpretación de la teoría de Vergnaud, que hemos construido a propósito de esta investigación, los contenidos de la asignatura, y los contenidos del campo conceptual, cuyo aprendizaje y conceptualización se investiga en esta tesis, se articulan a través de un conjunto de elementos que se describen a continuación.

a) Situaciones

Un conjunto $S = \{ FF \}$ de *situaciones*, que incluye fenómenos y problemas físicos (FF) incluidos en los contenidos del currículum, y que dan sentido al concepto de campo electromagnético. Por ejemplo situaciones y problemas de:

- Interacción entre partículas y campo.
- Relaciones entre fuerzas conservativas y energía potencial.
- Relaciones entre campo y potencial.

b) Invariantes

Un conjunto $I = \{ I(FF) \cup I(OM) \}$ de *invariantes operatorios físicos* $I(FF)$ e invariantes matemáticos $I(OM)$ que se aplican a las situaciones. Estos invariantes, otorgan significado al concepto de campo electromagnético y contenidos del curriculum. Los invariantes físicos $I(FF)$ son el conjunto de conceptos físicos y sus propiedades, además, los principios y leyes físicas. Por ejemplo:

Conceptos físicos

- Conceptos físicos fundamentales y sus propiedades, por ejemplo: posición, velocidad, aceleración, masa, fuerza y carga.
- Conceptos físicos y sus propiedades que se definen en términos de conceptos fundamentales, por ejemplo: trabajo y energía.
- Operaciones y propiedades de los conceptos de campo eléctrico y campo magnético, además, de un conjunto de conceptos que se definen a partir de éstos, por ejemplo: potencial, flujo magnético, circulación.

Principios y leyes físicas

- Principios de Newton.
- Teoremas de impulso y momentum, de trabajo y energía.
- Relaciones entre fuerza y energía potencial.
- Relaciones entre campo y potencial
- Leyes de Gauss, Faraday y Ampère.
- Ecuaciones de continuidad en una corriente.
- Conservación de la energía asociada al campo electromagnético.

Los invariantes matemáticos $I(OM)$ son el conjunto de conceptos y operaciones matemáticas, sus propiedades, y teoremas principales.

Conceptos y operaciones matemáticas

- Conceptos de escalar, vector, función, tensor.
- Operaciones y propiedades del álgebra vectorial.
- Operaciones y propiedades del cálculo.
- Funciones escalares y vectoriales.

Teoremas y propiedades matemáticas

- Diferencial, gradiente, divergencia, rotor, circulación y flujo.

- Teoremas de continuidad.
- Relaciones entre campos conservativos y potencial.
- Teoremas de la divergencia y del rotor.

c) Representaciones simbólicas

Un conjunto de $R = \{ R[FF \cup I(FF) \cup I(OM)] \}$ representaciones simbólicas y pictóricas usadas en las situaciones y problemas; representaciones simbólicas de los invariantes operatorios físicos $I(FF)$ y matemáticos $I(OM)$ y sus propiedades, tales como:

- Representaciones simbólicas de principios y leyes físicas.
- Representaciones simbólicas de álgebra vectorial, como flechas y componentes.
- Representaciones simbólicas de ecuaciones y funciones, como tablas y gráficos.
- Representaciones de campos escalar y vectorial como superficies y líneas de fuerza.

3.5.3. ORGANIZACIÓN DE LA ENSEÑANZA

Para responder las preguntas de investigación y alcanzar sus objetivos, se organizó la enseñanza en cuatro eventos, que articula a las unidades de contenidos de la asignatura, y del campo conceptual, como se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Eventos de enseñanza y unidades de contenidos de la asignatura y campo conceptual

Eventos de enseñanza	Unidades de contenidos de la asignatura	Contenidos del campo conceptual
I. Electrostática	1. Carga y fuerza eléctrica 2. Campo eléctrico 3. Ley de Gauss 4. Potencial eléctrico 5. Capacidad	Campos eléctricos independiente del tiempo
II. Corriente eléctrica	6. Corrientes estacionarias	Corrientes estacionarias y ley de Ohm
III. Magnetostática	7. Fuerza magnética 8. Campo magnético	Campos magnéticos independiente del tiempo
IV. Inducción	9. Inducción electromagnética	Campos eléctrico y magnético dependientes del tiempo

3.5.4. RECOGIDA DE DATOS Y EVENTOS DE INVESTIGACIÓN

La recogida de datos se realizó, a partir del uso de los conceptos del campo conceptual, por parte de los estudiantes, al enfrentar situaciones de tareas y problemas,

diseñadas para cinco eventos de investigación. Si bien, los datos se obtuvieron durante la enseñanza, ésta no es objeto de estudio, sólo es el contexto donde ocurren los eventos de investigación del proceso de aprendizaje y dominio del campo conceptual. La descripción de los eventos, instrumentos, propósitos de la recogida de datos y resultados esperados, se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Eventos de investigación, instrumentos, objetivos y resultados esperados

Eventos de investigación	Instrumentos y metodología	Propósito recogida de datos	Resultados esperados
Estudio 1: Conceptualización inicial en el campo conceptual	Cuestionario de lápiz y papel con situaciones y problemas. Aplicación Cuestionario N° 1	Obtener datos en lenguaje escrito y de las representaciones simbólicas de la Física, que eliciten representaciones del campo conceptual al inicio de la asignatura. Disponer de una base de datos para analizar y caracterizar niveles iniciales de conceptualización del campo conceptual.	Caracterización del conocimiento inicial del campo conceptual del campo electromagnético
Estudio 2: Avances en el dominio del campo conceptual	Taller con situaciones y problemas. Realización del Taller 1	Obtener datos que eliciten representaciones del campo conceptual adquiridas, después un acto de mediación de significados del campo conceptual. Disponer de datos para analizar y caracterizar avances en la conceptualización del campo conceptual.	Exploración y caracterización de significados adquiridos del campo conceptual del campo, luego de un acto de mediación
Estudio 3: Avances en el dominio del campo conceptual en un período de enseñanza	Taller con situaciones y problemas. Realización del Taller 2	Obtener datos que eliciten representaciones del campo conceptual después un periodo de enseñanza de significados del campo conceptual. Disponer de datos para analizar y caracterizar avances en la conceptualización del campo conceptual	Exploración y caracterización de significados adquiridos del campo conceptual, luego de un periodo de enseñanza
Estudio 4: Dominio del campo	Cuestionario de lápiz y papel con situaciones y problemas. Aplicación Cuestionario N° 2	Obtener datos en lenguaje escrito y de las representaciones simbólicas de la física, que eliciten representaciones del campo conceptual al final de la asignatura. Disponer de una base de datos para analizar y caracterizar niveles logrados de conceptualización del campo conceptual.	Caracterización del conocimiento alcanzado del campo conceptual del campo electromagnético.
Estudio 5: Aprendizaje del campo conceptual desde la física	Pruebas de lápiz y papel con preguntas y problemas. Aplicación de 4 Pruebas parciales de evaluación de contenidos	Obtener datos de significados de los contenidos de física aprendidos del campo conceptual durante el desarrollo de la asignatura. Disponer de una base de datos para analizar y caracterizar los significados adquiridos del campo conceptual	Caracterización de significados adquiridos del campo conceptual del campo electromagnético

3.6. MÉTODO

3.6.1. PARTICIPANTES

La población participante en esta investigación estuvo formada por 20 estudiantes de Ingeniería de la Universidad de La Frontera, Chile, de la asignatura de Electricidad y Magnetismo, durante el primer semestre académico del año 2004. Del total de participantes, 14 estudiantes pertenecen a la carrera de Ingeniería Civil Industrial en Bioprocesos, y 6 a la carrera de Ingeniería Matemática. La distribución por género, es 14 hombres y 6 mujeres, con edades entre 17 y 23 años. La asignatura se ubica en el tercer semestre del Plan de Estudios de ambas carreras. Todos los participantes, aprobaron previamente, asignaturas de Física General, Mecánica, Álgebra, Cálculo I y Cálculo II.

3.6.2. MATERIALES E INSTRUMENTOS

Considerando que no se contaba con instrumentos para recolectar datos que permitieran estudiar y analizar el proceso de conceptualización del campo conceptual del concepto de campo electromagnético, en el sentido descrito por la teoría de campos conceptuales, se elaboraron instrumentos *ad-hoc* para la realización de la investigación. Se utilizó como referencia un Cuestionario diseñado por Llancaqueo, Caballero, Moreira (2003b) para realizar un estudio similar con estudiantes españoles. Se diseñaron y seleccionaron situaciones de tareas y problemas de lápiz y papel, y construyeron cuatro instrumentos (Anexos 1, 2, 3 y 4).

En todos los instrumentos se presentan situaciones de formato diverso con preguntas de respuesta abierta, de modo que la recolección de datos permita inferir características de los invariantes de los esquemas usados por los estudiantes para dar cuenta de las situaciones, y representaciones simbólicas y pictóricas, que les ayudan a la conceptualización y asimilación de los significados del campo conceptual. En la elaboración de las situaciones se consultaron manuales de física, textos de epistemología e historia de las ciencias que tratan el desarrollo del concepto de campo, artículos y textos de científicos que participaron en la elaboración de teorías de campo. Una descripción general de los contenidos de las situaciones y representaciones simbólicas seleccionadas se presenta en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Contenido de las situaciones y representaciones simbólicas y pictóricas de instrumentos

Contenido de las situaciones		Contenido de las representaciones simbólicas y pictóricas		
Conceptos matemáticos	Conceptos físicos	Expresiones matemáticas, lingüísticas y gráficas		Operaciones y leyes físicas
Escalar	Masa, temperatura, densidad, volumen, energía, presión, carga, flujo magnético, potencial	Número \mathfrak{R}	Representación numérica \mathfrak{R}	Suma y resta Producto
Vector	Fuerza, desplazamiento, velocidad, campos eléctrico, magnético, gravitatorio	Módulo \mathfrak{R} Dirección y sentido	Geométrica (flecha) Analítica (componentes)	Suma y resta Producto escalar Producto vectorial Ley Coulomb, Principio superposición
Función	MRU, MRUA	$y = f(x)$	Gráfico Ecuación	Función lineal Función cuadrática
Campo escalar	Campo de temperaturas, densidad de carga, densidad de energía, potencial	$\phi = \phi(\vec{r}, t)$	Superficies Curvas de nivel	Diferencial y gradiente Trabajo y energía Campo y potencial
Campo vectorial	Campo eléctrico y magnético, velocidad en un fluido, densidad de corriente	$\vec{A}(\vec{r}, t)$	Componentes Diagramas de flechas Líneas de campo	Flujo y circulación Ley de Gauss Ley de Ampere Ley de Faraday

El propósito de los instrumentos elaborados fue disponer de un referente con situaciones (Vergnaud, 1998) escrito en el lenguaje natural y de las representaciones simbólicas de la física, que den sentido al campo conceptual, de manera que cada estudiante a través de su interacción con las situaciones y objetos, manifieste mediante su lenguaje escrito o el lenguaje simbólico de la física, las propiedades, relaciones y transformaciones que dan forma a los invariantes operatorios que utiliza y que representan para él los significados que atribuye al concepto de campo.

La validación de contenidos de los instrumentos se realizó mediante un análisis de los contenidos de las situaciones, y los presupuestos teóricos que le dieron origen (Silveira, 1981; 1993). Cada instrumento se sometió al juicio de un experto, físico e investigador en educación en ciencias, procurando alcanzar un consenso respecto de los contenidos de las situaciones. Para investigar la calidad de los puntajes, se realizó un análisis de consistencia mediante el coeficiente α (Cronbach, 1967), que mide la parte estable, confiable y común a los ítems. Los resultados del análisis de fiabilidad de cada instrumento se presentan en los capítulos que informan los resultados de los estudios.

Por otra parte, los instrumentos para recolectar datos de los significados de los contenidos de física adquiridos del campo conceptual, durante el desarrollo de la asignatura, fueron las *Pruebas parciales* elaboradas para la evaluación de contenidos de la asignatura. Los contenidos generales de cada prueba, según las unidades del curso y el campo conceptual se presentan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Contenidos generales de las pruebas según unidades campo conceptual

Pruebas	Unidades de la asignatura	Contenidos del campo conceptual
Primera Prueba	1. Carga y fuerza eléctrica 2. Campo eléctrico	Campos eléctricos independiente del tiempo
Segunda Prueba	3. Ley de Gauss 4. Potencial eléctrico	Campos eléctricos independiente del tiempo
Tercera Prueba	4. Capacidad 5. Corrientes estacionarias	Campos eléctricos independiente del tiempo. Corrientes estacionarias y ley de Ohm
Cuarta Prueba	6. Fuerza magnética 7. Campo magnético 8. Inducción electromagnética	Campo magnético independiente del tiempo. Campos eléctrico y magnético dependientes del tiempo

3.6.3. PROCEDIMIENTO

Todos los instrumentos utilizados en los estudios que conforman esta investigación, fueron administrados por el investigador en una aplicación colectiva en un aula de clase. Las sesiones en las que se administraron los instrumentos elaborados para los estudios 1, 2, 3 y 4, tuvieron una duración aproximada de 60 minutos. Por otra parte, en el estudio 5, las sesiones en las que se aplicaron las *Prueba parciales* de evaluación tuvieron una duración aproximada de 120 minutos.

3.6.4. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los datos recogidos en cada uno de los estudios fueron analizados cualitativa y cuantitativamente. Para realizar el primer tipo de análisis, los datos fueron codificados dando origen a categorías de análisis e interpretación. Al mismo tiempo, los datos obtenidos en cada uno de los estudios recibieron un tratamiento estadístico.

De este modo, para la realización del análisis cualitativo, los datos recolectados en los estudios 1, 2, 3 y 4 fueron sometidos a un proceso de codificación y se establecieron cinco categorías de análisis, que reflejan de manera jerárquica elementos, de los invariantes operatorios (o conocimientos-en-acción) usados por los estudiantes en su interacción con

los contenidos de las situaciones.

Las categorías de análisis son: Clasificación (CL); Expresión Escrita (EE); Representación (RP); Operación (OP) y Resolución (RS), cuya definición y descripción se presenta en la Tabla 3.5. El propósito de las categorías es caracterizar, las relaciones de conocimiento entre la realidad de las situaciones y las respuestas (acción operatoria) de los estudiantes.

Las respuestas de los participantes se analizaron cualitativamente y agruparon en un conjunto de ítems, distribuidos en las cinco categorías de análisis definidas anteriormente. Luego, se asignó a cada estudiante una puntuación de acuerdo a la concordancia de sus respuestas con los significados científicos de los conceptos medidos. Se otorgó una puntuación de 1 a las respuesta *totalmente correctas*, de 0,5 a las *parcialmente correctas* y 0 a las *incorrectas*. La puntuación máxima posible de obtener en cada estudio dependió del número de situaciones y la cantidad de ítems definidos en cada uno de ellos.

En consecuencia, el desempeño fue la variable medida en cada uno de los estudios, el que fue analizado de acuerdo a dos grupos de procedimientos: análisis del desempeño en las categorías y análisis del desempeño ponderado y niveles de conceptualización.

Tabla 3.5: Categorías de análisis de las respuestas de los estudiantes

Categoría	Descripción
Clasificación (CL)	De acuerdo con la teoría de Vergnaud, esta categoría se refiere a la descripción de invariantes de cualidades (características de clase) de reconocimiento e identificación de magnitudes físicas, a las que se aplican significados de los conceptos de escalar (e), vector (v), función (fn), campo escalar (ce), campo vectorial (cv), campo eléctrico (c-el) y campo magnético (c-mg), en el contexto de las situaciones planteadas en el instrumento.
Expresión escrita (EE)	Explora la presencia de expresiones escritas con predicados científicamente correctos, que definen atributos o propiedades de los conceptos de e, v, fn, ce, cv, c-el y c-mg, usados por los estudiantes, para explicar clasificaciones o argumentar respuestas a preguntas contenidas en las situaciones planteadas en el instrumento.
Representación (RP)	Esta categoría busca identificar y medir el uso de invariantes, que se relacionan con el conjunto de representaciones simbólicas y pictóricas (gráficos, ecuaciones, expresiones algebraicas, líneas de campo), que representen significados de los conceptos de e, v, fn, ce, cv, c-el y c-mg.
Operación (OP)	Con esta categoría se intenta medir el uso e identificación de invariantes a partir de los procedimientos empleados por los estudiantes en las situaciones, esto es, el conocimiento y aplicación de operaciones, sus propiedades y representaciones simbólicas asociadas a los conceptos de e, v, fn, ce, cv, c-el y c-mg.
Resolución (RS)	Esta categoría intenta explorar y medir la disponibilidad conceptual de los estudiantes, en términos de propiedades, relaciones y transformaciones científicamente correctas de los conceptos de e, v, fn, ce, cv, c-el y c-mg, en la resolución de un problema, como una manifestación del uso de invariantes, tanto cuantitativos como cualitativos de las operaciones y representaciones simbólicas de dichos conceptos, en acuerdo con las demandas de los problemas planteados en las situaciones.

El análisis del desempeño en las categorías, incluye el desempeño según conceptos del campo conceptual y el desempeño por categorías según contenidos de las situaciones. El análisis detallado del desempeño de cada estudio se presenta en los capítulos que informan los resultados de cada uno de ellos.

Por otra parte, el análisis del desempeño ponderado y niveles de conceptualización, se realizó determinando los grados de dominio del campo conceptual del concepto de campo. Así, el desempeño ponderado de cada estudiante se categorizó según el nivel de conceptualización alcanzado—en una escala de cinco niveles— que describe el grado de dominio del concepto de campo que se presenta en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6: Descripción de la escala de niveles de conceptualización del concepto de campo

Nivel	Descripción	Ejemplo
N ₀	<i>Ausencia de invariantes operatorios para comprender el concepto de campo:</i> El estudiante no contesta o escribe respuestas irrelevantes, o no usa la palabra campo en sus explicaciones, o lo emplea erróneamente.	El dinero en un banco es un campo porque pertenece al “...campo de la economía...”
N ₁	<i>Reconocimiento de un campo sin explicación de significados científicos aceptables del concepto:</i> sólo clasifica magnitudes, nominándolas con el concepto de campo, sin explicar sus comprensiones, ni usa operaciones y representaciones simbólicas que muestren comprensión científica del concepto.	La velocidad de una corriente “es un campo vectorial...”. Reconoce el carácter vectorial sin explicar su significado.
N ₂	<i>Reconocimiento de un campo y explicación parcial de significados científicos del concepto:</i> reconoce situaciones y clasifica magnitudes Físicas usando el concepto de campo con explicaciones referidas a aspectos parciales del concepto. Usa limitadamente algunas operaciones y representaciones simbólicas, sin vincularlas completamente con una representación u operación ligada al concepto. No se infiere una aplicación de conocimientos-en-acción del concepto en la resolución de un problema.	La temperatura en una sartén es un campo escalar, porque “irradia desde el centro hasta hacerse homogénea...”. Calcula vectores de un campo en diversos puntos de un plano, pero los dibuja en un mismo punto.
N ₃	<i>Transición entre un reconocimiento y significación parcial del concepto de campo, con aplicación del concepto a situaciones y problemas:</i> reconoce situaciones y clasifica magnitudes usando el concepto de campo. Sus explicaciones reflejan organización y comprensión de los significados, operaciones y representaciones simbólicas del concepto de campo, pero sin lograr conectarlas completamente. Usa el concepto de campo en la resolución de un problema, con una explicitación limitada mediante representaciones simbólicas o expresiones escritas de los conocimientos- en- acción usados en la resolución.	Velocidad del agua en una corriente “...es un campo vectorial porque depende de sus coordenadas y de su posición...”. El mismo sujeto en otra situación afirma “...un fluido es un medio homogéneo y continuo en que sus propiedades son continuas en todo su ser...” para explicar que un modelo de sistema de partículas describe un fluido en movimiento.
N ₄	<i>Aprehensión del concepto de campo para el nivel de instrucción:</i> manifiesta comprensión y explicitación de conocimientos-en-acción del concepto para describir el comportamiento de una magnitud Física definida en cada punto de una región del espacio y del tiempo. Usa operaciones, representaciones simbólicas y propiedades del concepto de campo en situaciones y problemas.	

En el caso del Estudio 5, las respuestas de los estudiantes a cada *Prueba Parcial* (Anexo 5, 6, 7 y 8), fueron sometidas a un proceso de codificación. Luego se analizaron cualitativamente y agruparon en un conjunto de ítems de contenidos del campo conceptual. Posteriormente, se asignó a cada ítem una puntuación de acuerdo a la concordancia de sus respuestas con los significados científicos de los conceptos medidos. Se otorgó una puntuación de 1 a las respuesta *totalmente correctas*, de 0,5 a las *parcialmente correctas* y 0 a las *incorrectas*. La puntuación máxima posible de obtener en cada prueba dependió del número de ítems definidos en cada una de ellas. Una descripción general de los ítems de contenidos definidos para cada una de las pruebas se presenta en el Capítulo 8.

Respecto al análisis estadístico, todos los datos recolectados y sus transformaciones fueron analizados a través del Programa Estadístico Computacional SPSS, versión 11.0. Para establecer la existencia o no de diferencias significativas debidas a las variables estudiadas, se compararon medias y utilizó la prueba *t de student*. Para la fiabilidad de los puntajes se determinó a través del coeficiente α , y para la representatividad de los datos y relación entre variables, se usó el coeficiente de correlación r .

CAPÍTULO 4

ESTUDIO 1:

CONCEPTUALIZACIÓN INICIAL EN EL CAMPO CONCEPTUAL

El presente estudio corresponde a la primera fase del proceso de investigación diseñado para alcanzar los objetivos generales y específicos de la tesis, planteados en el Capítulo 3. El propósito de este estudio fue usar la *Teoría de los campos conceptuales*, para examinar el conocimiento y conceptualización inicial, del concepto de campo, de los estudiantes participantes, al inicio del curso de “*Electricidad y Magnetismo*”.

De acuerdo con las hipótesis que orientan y guían la investigación, la realización de este estudio, supuso enfrentar a los participantes a situaciones y problemas, presentadas en diferentes formatos representacionales (imágenes, gráficas, textos), para investigar los invariantes operatorios usados, comprender y explicar las representaciones simbólicas que les ayudan a una conceptualización de los significados de los conceptos pertenecientes al campo conceptual del concepto de campo (Moreira, 2002; Greca y Moreira, 2002). Por este motivo los objetivos propuestos para este estudio fueron los siguientes:

- a) Determinar los niveles de conceptualización previa del concepto de campo en Física.
- b) Establecer relaciones entre la estructura de este concepto científico y el nivel de desarrollo conceptual de los participantes.

En resumen, se busca determinar y caracterizar el conocimiento inicial de los estudiantes, por la gran influencia que tiene en el aprendizaje significativo de conceptos.

4.1. MÉTODO

4.1.1. PARTICIPANTES

La muestra estuvo conformada por 20 estudiantes (15 hombres y 5 mujeres) entre 18 y 23 años de edad, de un curso de Electricidad y Magnetismo de la carreras de Ingeniería de la Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

4.1.2. INSTRUMENTO

Con propósito de obtener datos, que permitieran analizar la conceptualización del concepto de campo en el sentido descrito por la *teoría de campos conceptuales*, se elaboró un instrumento ad-hoc para este estudio. Se utilizó como referencia un Cuestionario diseñado por Llancaqueo, Caballero y Moreira (2003b) (ver Anexo 1) para realizar un estudio similar con estudiantes españoles. El instrumento consta de 10 situaciones con tareas y problemas en formato gráfico y escrito, que elicitaban representaciones del concepto de campo. En la elaboración de las situaciones, se consultaron textos de Física, epistemología y de historia de las ciencias. Los contenidos incluidos en las situaciones se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Contenido de las situaciones y representaciones simbólicas y pictóricas del instrumento

Contenido de las situaciones		Contenido de las representaciones simbólicas y pictóricas		
Conceptos matemáticos	Conceptos físicos	Expresiones matemáticas, lingüísticas y gráficas		Operaciones y leyes físicas
Escalar	Masa, temperatura, energía, presión, carga, longitud, flujo magnético, potencial	Número \mathfrak{R}	Representación numérica \mathfrak{R}	Suma y resta Producto
Vector	Fuerza, velocidad, desplazamiento, campos eléctrico, magnético, gravitatorio	Módulo \mathfrak{R} Dirección y sentido	Geométrica (flecha) Analítica (componentes)	Suma y resta Producto escalar
Función	MRU, MRUA	$y = f(x)$	Gráfico Ecuación	Función lineal Función cuadrática
Campo escalar	Campo de temperaturas, otros	$\phi = \phi(\vec{r}, t)$	Superficies Curvas de nivel	Diferencial Gradiente
Campo vectorial	Campo eléctrico y magnético, velocidad en un fluido, otros	$\vec{A}(\vec{r}, t)$	Componentes Diagramas de flechas Líneas de campo	Flujo Circulación

4.1.3. PROCEDIMIENTO

El Cuestionario se administró colectivamente en una sala de clase, al grupo de 20 estudiantes del curso “Electricidad y Magnetismo” de la carrera de Ingeniería de la

Universidad de La Frontera. La aplicación tuvo una duración de 60 minutos aproximadamente.

4.1.4. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los datos obtenidos, fueron sometidos a un proceso de codificación y se establecieron cinco categorías de análisis que reflejan de manera jerárquica los elementos, de los invariantes operatorios (o conocimientos-en-acción) usados por los estudiantes en su interacción con los contenidos de las situaciones. Las categorías de análisis definidas son: Clasificación (CL); Expresión Escrita (EE); Representación (RP); Operación (OP) y Resolución (RS), cuya definición y descripción se presenta en la Tabla 4.2. El propósito de estas categorías es caracterizar, las relaciones de conocimiento entre la realidad de las situaciones y las respuestas (acción operatoria) de los estudiantes.

Tabla 4.2: Categorías de análisis de las respuestas de los estudiantes

Categoría	Descripción
Clasificación (CL)	De acuerdo con la teoría de Vergnaud, esta categoría se refiere a la descripción de invariantes de cualidades (características de clase) de reconocimiento e identificación de magnitudes físicas, a las que se aplican significados de los conceptos de escalar (e), vector (v), función (fn), campo escalar (ce), campo vectorial (cv), campo eléctrico (c-el) y campo magnético (c-mg), en el contexto de las situaciones planteadas en el instrumento.
Expresión escrita (EE)	Explora la presencia de expresiones escritas con predicados científicamente correctos, que definen atributos o propiedades de los conceptos de e, v, fn, ce, cv, c-el y c-mg, usados por los estudiantes, para explicar clasificaciones o argumentar respuestas a preguntas contenidas en las situaciones planteadas en el instrumento.
Representación (RP)	Esta categoría busca identificar y medir el uso de invariantes, que se relacionan con el conjunto de representaciones simbólicas y pictóricas (gráficos, ecuaciones, expresiones algebraicas, líneas de campo), que representen significados de los conceptos de e, v, fn, ce, cv, c-el y c-mg.
Operación (OP)	Con esta categoría se intenta medir el uso e identificación de invariantes a partir de los procedimientos empleados por los estudiantes en las situaciones, esto es, el conocimiento y aplicación de operaciones, sus propiedades y representaciones simbólicas asociadas a los conceptos de e, v, fn, ce, cv, c-el y c-mg.
Resolución (RS)	Esta categoría intenta explorar y medir la disponibilidad conceptual de los estudiantes, en términos de propiedades, relaciones y transformaciones científicamente correctas de los conceptos de e, v, fn, ce, cv, c-el y c-mg, en la resolución de un problema, como una manifestación del uso de invariantes, tanto cuantitativos como cualitativos de las operaciones y representaciones simbólicas de dichos conceptos, en acuerdo con las demandas de los problemas planteados en las situaciones.

La validación de contenido del cuestionario se realizó mediante un análisis de contenidos de las situaciones, y los presupuestos teóricos que le dieron origen (Silveira, 1981; Silveira, 1993). El instrumento se sometió al juicio de un experto, físico e investigador en educación en ciencias, procurando alcanzar un consenso de los contenidos

de las situaciones del instrumento. Para investigar la calidad de los puntajes, se realizó un análisis de consistencia mediante el coeficiente α (Cronbach, 1967). La síntesis del análisis de fiabilidad se presenta en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Síntesis análisis de fiabilidad

Puntaje Total	Media puntaje total	Desviación Típica	Número de categorías	Coefficiente α
39	14,6	4,4	5	0,74

Como parte del análisis de consistencia interna, se calcularon los coeficientes de correlación r , entre el puntaje de cada categoría y el puntaje total (ver Tabla 4.4).

Tabla 4.4: Coeficientes correlación r entre puntaje total y puntaje de cada categoría

Categoría	CL	EE	RP	OP	RS
Coefficiente correlación r	0,830	0,832	0,693	0,573	0,552

Los valores de todos los coeficientes de correlación son mayores que 0,552, luego, la eliminación de cualquier categoría generaría una disminución del coeficiente α . Por lo tanto, dado que lo que se intenta medir son aspectos de representaciones mentales, largamente implícitas, se estima que el valor $\alpha = 0,74$ indica puntajes estadísticamente confiables.

4.2. RESULTADOS

Las respuestas de los participantes se analizaron cualitativamente y se agruparon en 39 ítems, distribuidos en las cinco categorías definidas previamente: Clasificación (CL) 10 ítems; Expresión Escrita (EE) 11 ítems; Representación (RP) 8 ítems; Operación (OP) 5 ítems y Resolución 5 ítems (RS). Luego, se asignó a cada estudiante una puntuación de acuerdo a la concordancia de sus respuestas con los significados científicos de los conceptos medidos. Se otorgó una puntuación de 1,0 a las respuesta *totalmente correctas*, de 0,5 a las *parcialmente correctas* y 0 a las *incorrectas*. La puntuación máxima posible fue 39, y en la Tabla 4.5, se presenta la distribución y descripción de los ítems por situación y categoría.

A continuación, se presentan y discuten los resultados del desempeño de los estudiantes en cada una de las categorías de análisis definidas para este estudio.

Tabla 4.5: Distribución y descripción de ítems según situación y categoría

Situación	Descripción	CL	EE	RP	OP	RS	Puntos
1	Clasificación y explicación de magnitudes escalares	CL1	EE1				2
	Clasificación y explicación de magnitudes vectoriales	CL2	EE2				2
2	Representación y operación de vectores por flechas			RP1	OP1		2
	Representación y operación de vectores por componentes			RP2	OP2		2
	Resolución problema álgebra vectorial					RS1	1
3	Representación de función por ecuación			RP3			1
	Representación de función por gráfico			RP4			1
	Resolución problema cinemática					RS2	1
4	Ejemplo situación campo escalar	CL3	EE3				2
	Ejemplo situación campo vectorial	CL4	EE4				2
5	Clasificación y explicación del dinero de un Banco	CL5	EE5				2
	Clasificación y explicación de la velocidad de una corriente	CL6	EE6				2
	Clasificación y explicación de la temperatura de una sartén	CL7	EE7				2
6	Problema modelo de un fluido en movimiento	CL8	EE8			RS3	3
7	Representación de un campo de fuerza			RP5	OP3		2
	Acción de un campo de fuerza					RS4	1
8	Cálculo de un campo eléctrico, flujo y circulación				OP4		1
9	Comprensión campo eléctrico	CL9	EE9	RP6			3
	Comprensión campo magnético	CL10	EE10	RP7			3
10	Identificación y acción de un campo eléctrico		EE11	RP8	OP5	RS5	4
		10	11	8	5	5	39

4.2.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DESEMPEÑO SEGÚN CATEGORÍAS

4.2.1.1. CLASIFICACIÓN

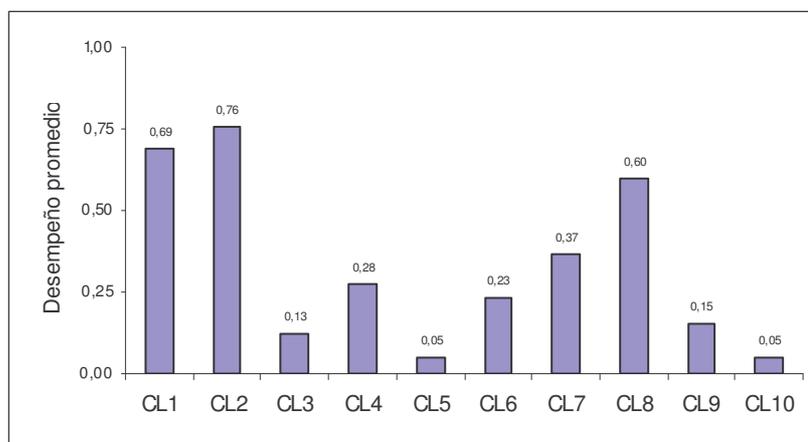
De acuerdo con la definición de esta categoría, estos resultados describen presencia de clasificación en acuerdo con significados científicos de los conceptos de escalar, vector, campo escalar, campo vectorial, campo eléctrico y campo magnético. En la Tabla 4.6, se presentan los resultados del desempeño promedio de los estudiantes en esta categoría.

Tabla 4.6: Desempeños promedio en la categoría clasificación

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
CL1	Lista de magnitudes físicas escalares (masa, energía, temperatura, presión, carga eléctrica, flujo magnético, longitud y potencial eléctrico)	0,69	1
CL2	Lista de magnitudes físicas vectoriales (velocidad, fuerza, campo eléctrico, campo magnético, desplazamiento y campo gravitatorio)	0,76	
CL3	Ejemplo de una situación de campo escalar	0,13	4
CL4	Ejemplo de una situación de campo vectorial	0,28	
CL5	Dinero de un Banco	0,05	5
CL6	Velocidad del agua en una corriente	0,23	
CL7	Temperatura de una sartén	0,37	
CL8	Modelo de un fluido en movimiento	0,60	6
CL9	Campo eléctrico	0,15	9
CL10	Campo magnético	0,05	

En la Figura 4.1, se observa que los mayores valores de desempeño en esta categoría, corresponden a los ítems de clasificación de magnitudes Físicas de la Situación 1, con valores de 0,69 para magnitudes escalares y 0,76 para magnitudes vectoriales. Estos valores son muy superiores al resto de los ítems de esta categoría.

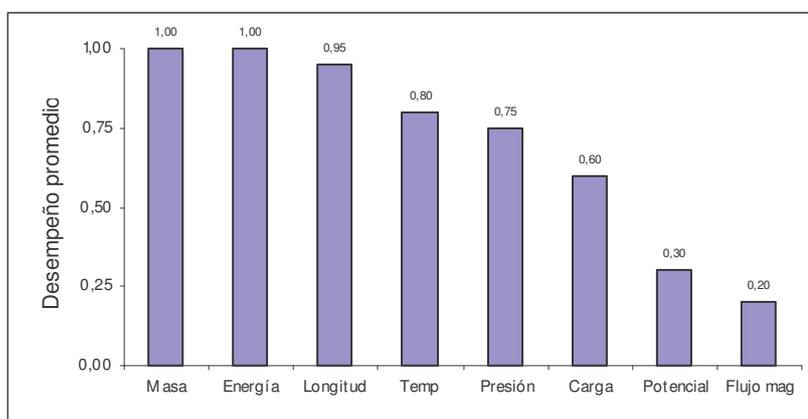
Figura 4.1: Desempeño promedio en la categoría clasificación



Se observa un bajo desempeño en los ítems de la Situación 4 (0,13 y 0,28), que miden la proposición de ejemplos cotidianos que usen los conceptos de campo escalar y vectorial. Un comportamiento similar, se observa en los ítems de la Situación 5 (0,05; 0,23 y 0,37), donde se pregunta, si magnitudes tales como, dinero de un Banco, velocidad de una corriente de agua y temperatura de una sartén, pueden ser descritas mediante los conceptos de campo escalar o vectorial. En la Situación 9, los desempeños también son bajos para la clasificación del campo eléctrico (0,15) y campo magnético (0,05) como campos vectoriales. Llama la atención, el valor 0,6 de desempeño en la Situación 6, que representa la clasificación de un fluido en movimiento en un ejemplar de campo.

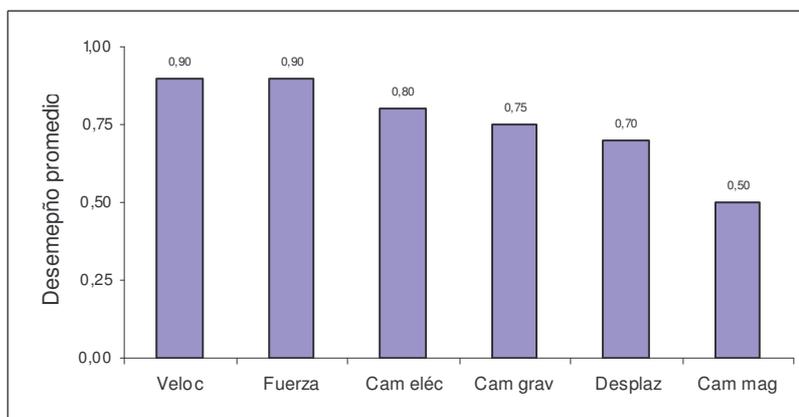
Este resultado parece sugerir, que los esquemas de los estudiantes, contienen significados científicos del concepto de campo vectorial, sin embargo, también se observa, que la mayoría de los estudiantes, no explica que el ejemplar escogido es un campo vectorial. En general, los desempeños en esta categoría, parecen desvelar dificultades de los estudiantes, para acomodar conocimientos-en-acción del concepto de campo, a situaciones cotidianas y problemas. Un análisis de los desempeños desagregados de clasificación de magnitudes escalares de la Situación 1, permite observar, que flujo magnético y potencial eléctrico, son las magnitudes que tienen más bajo desempeño, inferior a 0,30 como muestra la Figura 4.2. Todas las otras magnitudes escalares tienen desempeños superiores a 0,60.

Figura 4.2: Desempeños de clasificación de magnitudes escalares de la Situación 1



En el caso de magnitudes vectoriales, en la Figura 4.3 se observa que campo magnético, es la magnitud de menor desempeño (0,50) de clasificación. Las otras magnitudes vectoriales tienen un desempeño superior a 0,70.

Figura 4.3: Desempeño de clasificación de magnitudes vectoriales de la Situación 1



En forma preliminar, los valores bajos de desempeño en esta categoría, podrían interpretarse como indicadores de desconocimiento de estos conceptos, o indicar ausencia de invariantes operatorios del concepto de campo, que se ponen de manifiesto, cuando las magnitudes Físicas, se relacionan con fenómenos más alejados de la experiencia cotidiana, como los fenómenos magnéticos. O bien, cuando las magnitudes se definen mediante operaciones propias de un campo vectorial, más complejas como flujo y potencial.

4.2.1.2. EXPRESIÓN ESCRITA

Los resultados del desempeño de esta categoría, representan presencia de expresiones escritas, con predicados correctos del concepto de campo, usados por los estudiantes para explicar clasificaciones realizadas, o para argumentar respuestas a situaciones. Los desempeños promedio para esta categoría se presentan en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7: Desempeño promedio en la categoría expresión escrita

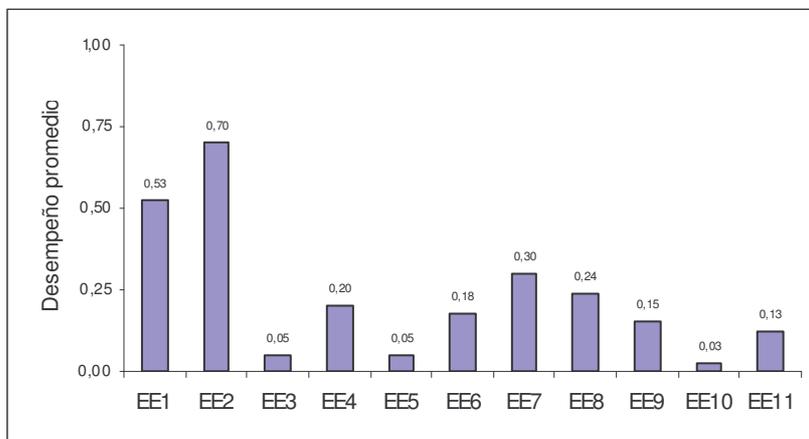
Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
EE1	Explicación de magnitudes físicas clasificadas como escalar	0,53	1
EE2	Explicación de magnitudes físicas clasificadas como vector	0,70	1
EE3	Explicación de un ejemplo de una situación de campo escalar	0,05	4
EE4	Explicación de un ejemplo de una situación de campo vectorial	0,20	4
EE5	Explicación para el dinero de un Banco	0,05	5
EE6	Explicación para velocidad de una corriente como campo vectorial	0,18	5
EE7	Explicación para temperatura de una sartén como un campo escalar	0,30	5
EE8	Argumentos de la elección de un fluido en movimiento como ejemplar de campo vectorial	0,24	6
EE9	Explicación del campo eléctrico como un campo vectorial	0,15	9
EE10	Explicación del campo magnético como un campo vectorial	0,03	9
EE11	Argumentos sobre la existencia de un campo eléctrico y su acción sobre una carga	0,13	10

En general, estos resultados muestran que el uso de expresiones con significados correctos es bajo. En la Figura 4.4, se observan valores de desempeños menores a 0,30, en todos los ítems que se refieren a atributos del concepto de campo, esto se verifica desde los ítems EE3 a EE11. Sólo los ítems que corresponden a explicaciones de clasificación de la lista de magnitudes escalares y vectoriales presentan un desempeño superior a 0,50.

Llama la atención, que el desempeño por ítem de esta categoría (EE) sea menor que el desempeño por ítem de la categoría clasificación. En efecto, en la Situación 1, se observan desempeños de clasificación 0,69 y 0,76, para la clasificación de magnitudes escalares y vectoriales, mientras que en la categoría expresión escrita, las expresiones que

explican éstas clasificaciones, tienen un desempeño menor, con valores 0,53 para las magnitudes escalares y 0,70 para las vectoriales.

Figura 4.4: Desempeño en la categoría expresión escrita



El mismo comportamiento, se observa en los ítems de expresiones escritas usadas para explicar clasificaciones en las clases de campo escalar y campo vectorial. En la Situación 4, el desempeño es 0,05 y 0,20 en los ítems que explican ejemplos de situaciones de campo escalar y vectorial. En la Situación 5, los desempeños son 0,18, 0,30 y 0,05 en los ítems que explican, la velocidad de una corriente como campo vectorial, la temperatura de una sartén como campo escalar, y el dinero de un banco como una magnitud no atribuible al concepto de campo. En la Situación 9, el desempeño baja a valores 0,15 y 0,03 para los ítems que explican los campos eléctrico y magnético como campos vectoriales respectivamente.

En la Situación 6, el ítem de clasificación para un fluido en movimiento, tiene un desempeño 0,60, mientras que el desempeño en expresiones escritas, que explican esta clasificación 0,30. Esto muestra dificultades de los estudiantes para explicitar sus conocimientos usados en la clasificación. En la Situación 10, el desempeño de expresiones con argumentos que describen y explican la existencia y acción de un campo eléctrico sobre una carga es 0,13, lo cual, pareciera mostrar escaso conocimiento del concepto.

Los desempeños observados en esta categoría, podrían interpretarse como un indicador de dificultades, que aumenta notablemente en las situaciones que demandan un lenguaje y una conceptualización mayor (Vergnaud, 1998). Esto se comprueba en los bajos desempeños en los ítems de expresiones escritas referidas al concepto de campo, muy por debajo del desempeño en ítems que se refieren sólo a los conceptos de escalar y vector. El hecho que el desempeño en el ítem que explica un fluido en movimiento como un ejemplar

de campo vectorial, sea menor al desempeño de clasificación, podría estar mostrando la existencia de representaciones implícitas en los estudiantes del concepto de campo.

4.2.1.3. REPRESENTACIÓN

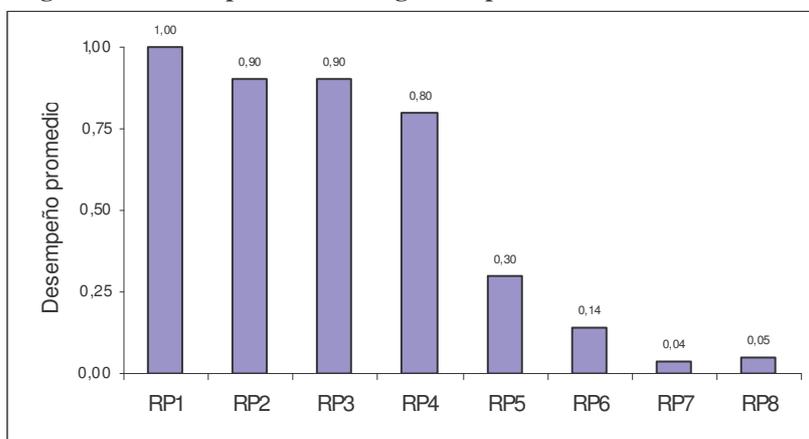
Los resultados del desempeño de esta categoría, describen el uso de representaciones simbólicas (flechas, componentes, gráficos, ecuaciones) y pictóricas (líneas de fuerza, diagramas de vectores) de conceptos matemáticos y físicos asociados al concepto de campo. Estos resultados de desempeño se presentan en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Desempeño en la categoría representación

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
RP1	Vectores por flechas	1,00	2
RP2	Vectores por componentes	0,90	
RP3	Función por ecuación	0,90	3
RP4	Función por gráfico	0,80	
RP5	Vectores fuerzas de un campo vectorial por flechas	0,30	7
RP6	Campo eléctrico por ecuaciones y/o líneas de campo	0,14	9
RP7	Campo magnético por ecuaciones y/o líneas de campo	0,04	
RP8	Vectores de campo y fuerza por flechas o componentes	0,05	10

En la Figura 4.5, se observa un desempeño alto para la representación de vector. En la Situación 2, los desempeños de representación de vector por flechas (representación tipo imagen) es 1,00, y por componentes (analítica tipo proposicional) es 0,90.

Figura 4.5: Desempeño en la categoría representación



Este comportamiento de alto desempeño, se mantiene para la representación del concepto de función. En la Situación 3, la representación de una función por ecuaciones es 0,90 y por gráficos es 0,80 respectivamente. En cambio, en los ítems de representación asociados al concepto de campo (Situaciones 7, 9 y 10), los desempeños son inferiores a 0,30. Así, en la Situación 9, los desempeños son 0,14 y 0,04 para la representación de los campos eléctrico y magnético por ecuaciones o líneas de fuerza. Este resultado, es coherente con los bajos desempeños en la categoría expresión escrita (0,15 y 0,03) que muestran una baja explicitación de significados científicos de estos conceptos.

En la Situación 7, el desempeño para la representación de un campo de fuerza, por un conjunto de vectores es 0,30, y en la Situación 10, el desempeño para la representación por vectores del campo y la fuerza eléctrica ejercida sobre una carga es 0,05. Estos valores bajos de desempeño, muestran dificultades de los estudiantes, para representar y comunicar resultados de operaciones (cálculos) asociadas a un campo vectorial.

En general, esta gran dispersión observada de los desempeños en la categoría de representación, puede ser interpretada desde la teoría de Vergnaud (1998), que describe y predice la existencia de dificultades de los estudiantes, para explicitar significados de conceptos científicos, mediante el uso de representaciones simbólicas y lenguaje, en la medida que las situaciones a enfrentar demanden mayores niveles de conceptualización.

4.2.1.4. OPERACIÓN

Los valores de desempeños obtenidos en esta categoría, describen procedimientos, uso de operaciones, propiedades y representaciones del campo conceptual del concepto de campo (vector, función, campo escalar, campo vectorial, campo eléctrico y magnético), al enfrentar situaciones y problemas. Estos resultados se informan en la Tabla 4.9 y en la Figura 4.6.

Tabla 4.9: Desempeño en la categoría operación

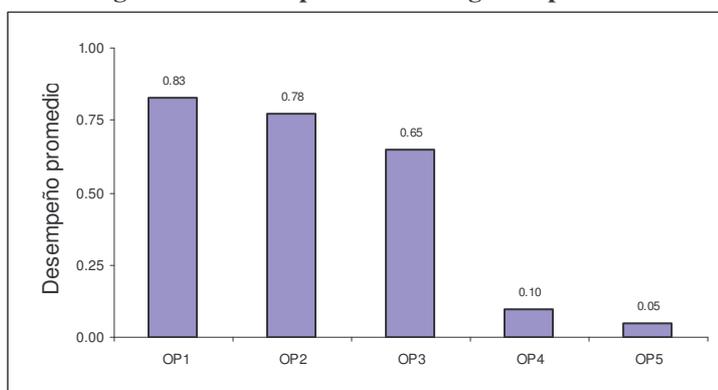
Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
OP1	Suma y resta de vectores por flechas	0,83	2
OP2	Suma y resta de vectores por componentes	0,78	2
OP3	Cálculo de vectores en un campo de fuerzas	0,65	7
OP4	Cálculo campo eléctrico, flujo y circulación	0,10	8
OP5	Cálculo del campo y fuerza eléctrica	0,05	10

En la Situación 2, los valores de desempeño en operaciones de álgebra vectorial son altos. La suma y resta de vectores por flechas tiene un desempeño de 0,83, y por componentes es 0,78. Este comportamiento del desempeño es similar al mostrado en la categoría Representación, donde se observa un menor desempeño, en la representación de vectores por componentes. Este resultado parece mostrar dificultades de los estudiantes para apropiarse de invariantes que reflejen, una conceptualización más compleja del álgebra vectorial, como es el uso de representaciones analíticas.

Por otra parte, el desempeño en todas las operaciones ligadas al concepto de campo, es menor al desempeño en operaciones de álgebra vectorial. El mayor desempeño en operaciones ligadas al concepto de campo es 0,65, para la resolución de un problema en la Situación 7. Este consiste en calcular un conjunto de vectores de un campo de fuerzas definido a partir de una ecuación matemática. Sin embargo, llama la atención que el desempeño de representación correcta de estos mismos vectores sea menor (0,30).

Este resultado puede interpretarse, como una evidencia de dificultades para representar vectores de un campo vectorial en puntos del espacio, poniendo de manifiesto una incomprensión de los significados del concepto de campo, como una función que asocia una magnitud vectorial a cada punto del espacio.

Figura 4.6: Desempeño en la categoría operación



En la Situación 10, llama la atención, el bajo desempeño del cálculo del flujo y la circulación (0,10). Esto podría explicarse por un desconocimiento de estos conceptos y operaciones, en este nivel educativo, o podría estar mostrando, la ausencia de invariantes para enfrentar situaciones que demandan una conceptualización superior (Vergnaud, 1998).

El bajo desempeño para el flujo, se relaciona también, en un mismo sentido, con el bajo valor de desempeño (0,20) en la categoría de clasificación de esta magnitud en la Situación 1 (ver Figura 4.2).

En la Situación 10, el desempeño es 0,05, para el cálculo del campo eléctrico y la fuerza que éste ejerce sobre una carga. Este resultado, puede originarse, en un desconocimiento de la definición operacional de este concepto, o bien, por una incomprensión de los significados científicos del concepto de campo eléctrico.

4.2.1.5. RESOLUCIÓN

Los valores de desempeño en esta categoría, describen la disponibilidad conceptual de los estudiantes, en términos de propiedades, relaciones y transformaciones científicamente correctas de conceptos del campo conceptual del concepto de campo (vector, función, campo vectorial y campo eléctrico) en resolución de un problema. Estos resultados se presentan en la Tabla 4.10 y en la Figura 4.7.

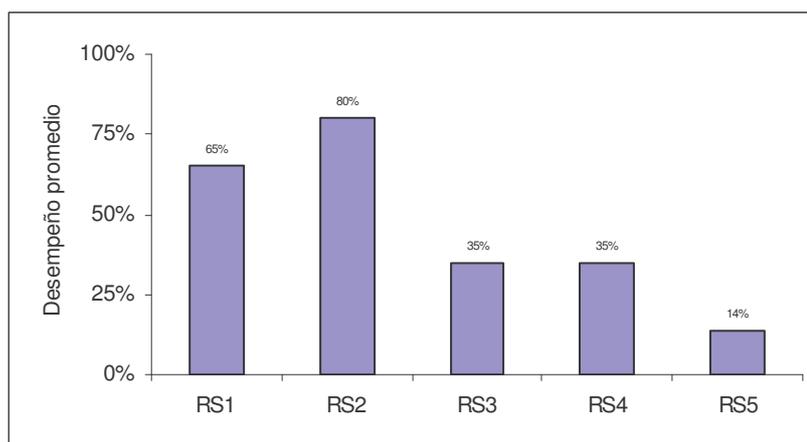
En esta categoría, los valores de desempeño más altos corresponden a ítems de resolución de problemas de álgebra vectorial (0,65) de la Situación 2, y de cinemática (0,80) de la Situación 3. Estos valores están en acuerdo con el desempeño en las categorías de representación y operación en las mismas situaciones, esto puede interpretarse como un indicador de una conceptualización alta de los conceptos de vector y función.

Tabla 4.10: Desempeño en la categoría resolución

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
RS1	Problema de álgebra vectorial. (determinación del ángulo de las diagonales de una mesa rectangular)	0,65	2
RS2	Problema de aplicación del concepto de función (problema de cinemática)	0,80	3
RS3	Problema de categorizar un fluido en movimiento en la clase de campo o de un sistema de partículas.	0,35	6
RS4	Problema de explicar la acción de un campo de fuerzas sobre una partícula a lo largo de una trayectoria.	0,35	7
RS5	Problema de argumentar la existencia de un campo eléctrico y describir su acción sobre una carga.	0,14	10

En cambio, en los problemas planteados en las Situaciones 6, 7 y 10, que involucran una conceptualización científica del concepto de campo, el desempeño es bajo. Este resultado muestra una disponibilidad conceptual baja, en los estudiantes, para enfrentar problemas que demandan una aplicación de significados de este concepto.

Figura 4.7: Desempeño en la categoría resolución



En efecto, los valores de desempeño son: 0,35 en la Situación 6, para explicar la categorización de un fluido en movimiento; 0,35 en la Situación 7, para describir y explicar la influencia de un campo de fuerzas sobre una partícula, y 0,14 en la Situación 10, para argumentar la existencia de un campo eléctrico y describir su acción sobre una carga.

4.2.2. DESEMPEÑO EN LAS CATEGORÍAS SEGÚN CONCEPTOS

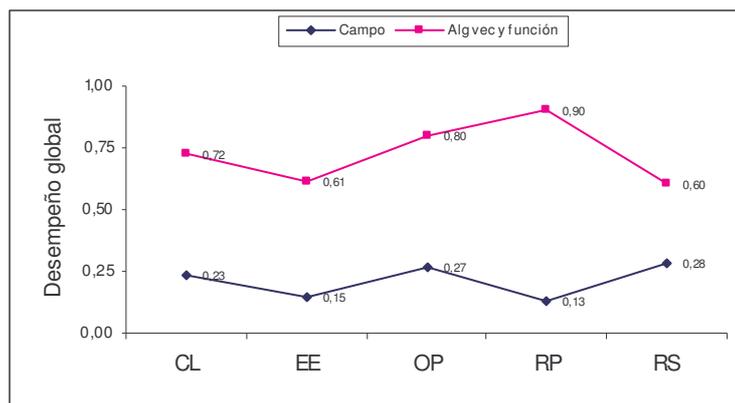
Los resultados discutidos en la sección anterior, muestran una notable diferencia entre los desempeños de álgebra vectorial y función, y los desempeños de campo escalar, campo vectorial, campo eléctrico y magnético. En la Tabla 4.11, se presenta el desempeño promedio en cada categoría, en función de los conceptos del campo conceptual.

Tabla 4.11: Desempeño en las categorías según conceptos

Categorías	CL	EE	RP	OP	RS
Conceptos					
Escalar	0,69	0,53			
Vector	0,76	0,70	1,00	0,83	0,65
			0,90	0,78	
Función			0,90		0,80
			0,80		
Campo escalar	0,13	0,50			
	0,37	0,30			
	0,50	0,50			
Campo vectorial	0,28	0,20	0,30	0,65	0,35
	0,23	0,24		0,10	
	0,60	0,24			
Campo eléctrico y magnético	0,15	0,15	0,14	0,50	0,35
	0,50	0,30	0,40		0,14
		0,13	0,50		

Esta diferencia se hace más evidente en los desempeños globales, pues si se calcula en forma separada el desempeño global para el grupo de conceptos de álgebra vectorial y función, y para el grupo de conceptos ligados exclusivamente al concepto de campo, se observa que los desempeños para el concepto campo es inferior a 0,30, en todas las categorías como muestra la Figura 4.8.

Figura 4.8: Desempeños globales en conceptos de campo, álgebra vectorial y función

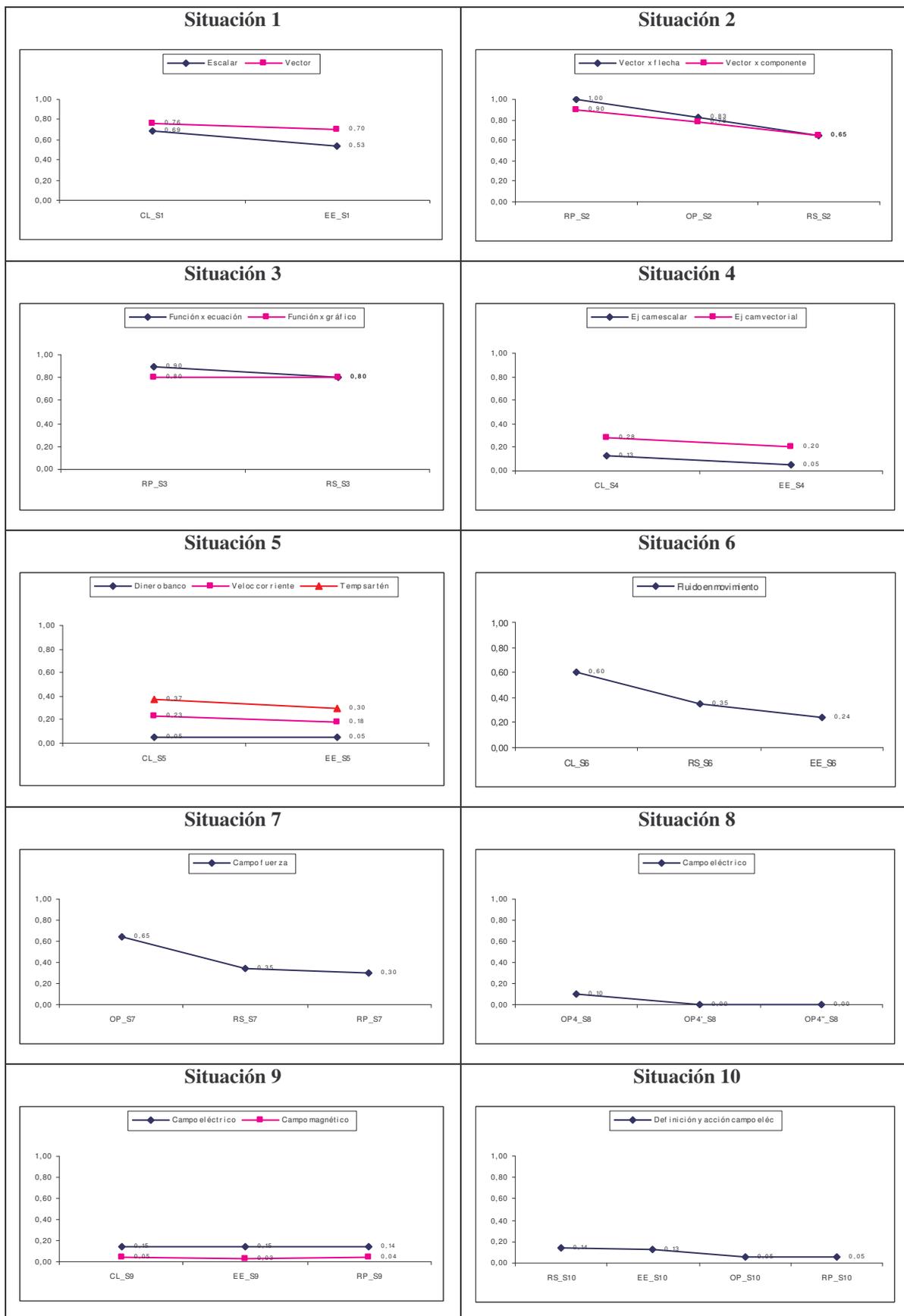


Este resultado indica, que si bien, los estudiantes dispondrían de esquemas para resolver situaciones que requieren aplicación de conceptos y operaciones de álgebra vectorial y función, la escasa aprehensión conceptual del concepto de campo, impide un mejor desempeño en este ámbito. Posiblemente los estudiantes no otorgan sentido a las situaciones y problemas, y no usan invariantes para interpretar los contenidos físicos, matemáticos y sus representaciones simbólicas.

4.2.3. DESEMPEÑO EN LAS CATEGORÍAS SEGÚN CONTENIDO DE LAS SITUACIONES

Por otra parte, es conveniente, interpretar y analizar el desempeño de los estudiantes en cada Situación, en función de los contenidos incluidos en cada una de ellas. Así, en cada una de las situaciones, se agruparon los desempeños en series, que tienen por elementos, los valores de desempeño en los ítems que se refieren a un solo contenido o concepto específico del campo conceptual del concepto de campo. En la Figura 4.9, se presentan estas series de desempeño por situación, con sus valores del desempeño observado ordenados de mayor a menor.

Figura 4.9: Desempeño promedio según contenidos de cada situación



En general, se observa en las series de desempeño de la Figura 4.9, algunas regularidades y concordancias que se comentan a continuación.

En las series que incluyen ítems pertenecientes a las categorías clasificación y expresión escrita (Situaciones 1, 4, 5, 6 y 9), el desempeño en clasificación es superior al desempeño de expresión escrita para todos los conceptos, ordenándose de la forma $CL > EE$. Se observa que las series con valores de desempeño superior a 0,50 pertenecen a la Situación 1, que corresponden a los conceptos de escalar y vector. En cambio, las series de las situaciones del concepto de campo, tienen desempeños menores a 0,40. Este comportamiento estaría mostrando dificultades de los estudiantes, para explicitar por medio del lenguaje escrito, los conocimientos-en-acción que usan al clasificar. Además, estas dificultades serían mayores, a medida que aumenta la complejidad de los significados de los conceptos. Este resultado, concuerda con la diferencia y tendencia del desempeño global en las categorías CL y EE (ver Figura 4.8), del concepto de campo y los conceptos de álgebra vectorial y función.

En las series con ítems de las categorías representación, operación y resolución de los conceptos de álgebra vectorial y función (Situaciones 2 y 3), los desempeños se ordenan en la forma $RP > OP > RS$ y $RP > RS$ respectivamente, con valores superiores a 0,66. Este comportamiento muestra una disponibilidad adecuada de representaciones simbólicas, y su uso por parte de los estudiantes. Además, un buen uso de operaciones y procedimientos, asociados con estos conceptos y una menor capacidad de uso de invariantes al enfrentar un problema. Estos resultados, también concuerdan con el comportamiento del desempeño global en estas categorías para este grupo de conceptos (Figura 4.8).

En el caso del concepto de campo, en las series que contienen ítems de las categorías representación, operación y resolución, el desempeño de RP se ubica en el extremo inferior en todas las series, con valores menores a 0,30 (Situaciones 7, 9 y 10), lo cual muestra una baja disponibilidad y escaso uso de representaciones simbólicas del concepto de campo. Además, se observan los siguientes ordenes en las series desempeño: $OP > RS > RP$ en la Situación 7; $RS > EE > OP > RP$ en la Situación 10; y $CL > RS > EE$ en la Situación 6.

Que los desempeños de RS, en estas situaciones, sean mayores a RP y EE podría indicar, que si bien, algunos estudiantes disponen de invariantes para enfrentar situaciones que involucran comprensión de significados del concepto de campo, aún no usan representaciones simbólicas y expresiones escritas adecuadas para otorgar significado a

problemas y operaciones del concepto de campo. Por otra parte, que los desempeños OP sean también mayores a RP, y con RS se alternen, muestra predominio de aspectos procedimentales al enfrentar las situaciones.

4.2.4. NIVELES DE CONCEPTUALIZACIÓN DEL CONCEPTO DE CAMPO

Para determinar grados de dominio del campo conceptual del concepto de campo, se analizó el desempeño de cada estudiante, exclusivamente en los ítems referidos al concepto de campo, excluyendo los referidos a los conceptos de función y álgebra vectorial. Estos ítems corresponden a las filas tercera, cuarta y quinta de la Tabla 4.11. El desempeño obtenido por cada estudiante se asignó a un nivel de conceptualización, que describiera y representara el grado de dominio del concepto de campo alcanzado, en una escala de cinco niveles de conceptualización. La descripción de cada nivel se presenta en la Tabla 4.12.

La asignación de cada estudiante a un nivel de conceptualización, se determinó a partir del Puntaje de desempeño ponderado (PDP) obtenido en el conjunto de 27 ítems del concepto de campo. Para la determinación del PDP, se definieron las siguientes ponderaciones para cada categoría: *Clasificación* 10%, *Expresión escrita* 15%, *Representación*, *Operación* y *Resolución* 25%. Así, de acuerdo con el número de ítems y la ponderación definida para cada categoría, el puntaje de desempeño ponderado, se determina mediante la expresión.

$$PDP = \frac{2,70}{8} CL + \frac{4,05}{9} EE + \frac{6,75}{4} RP + \frac{6,75}{3} OP + \frac{6,75}{3} RS$$

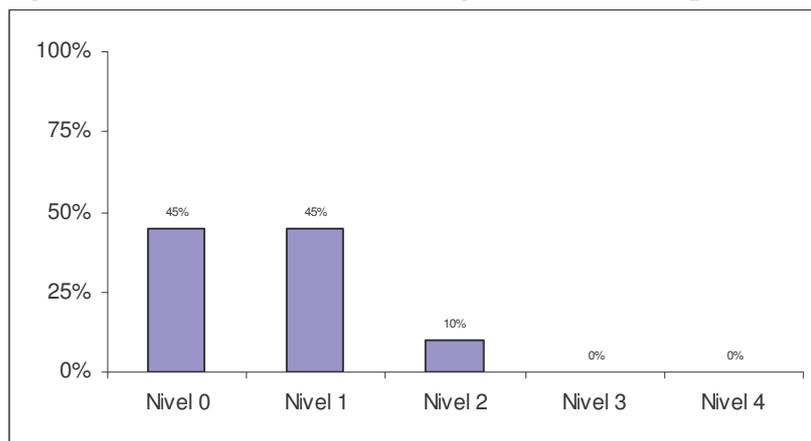
donde, *CL*, *EE*, *RP*, *OP* y *RS* es el desempeño obtenido por cada estudiante en cada categoría. Luego, se definió una escala de conceptualización de 0 a 5 puntos, con rangos de variación para cada nivel de conceptualización. Así, al Nivel 0 le corresponden valores de *PDP* entre 0 y 0,99; Nivel 1 de 1,00 a 1,99; Nivel 2 de 2,00 a 2,99; Nivel 3 de 3,00 a 3,99; y Nivel 4 de 4,00 a 5,00 respectivamente.

Tabla 4.12: Descripción de la escala de niveles de conceptualización del concepto de campo

Nivel	Descripción	Ejemplo
N ₀	<i>Ausencia de invariantes operatorios para comprender el concepto de campo:</i> El estudiante no contesta o escribe respuestas irrelevantes, o no usa la palabra campo en sus explicaciones, o lo emplea erróneamente.	El dinero en un banco es un campo porque pertenece al “...campo de la economía...”
N ₁	<i>Reconocimiento de un campo sin explicación de significados científicos aceptables del concepto:</i> sólo clasifica magnitudes, nominándolas con el concepto de campo, sin explicar sus comprensiones, ni usa operaciones y representaciones simbólicas que muestren comprensión científica del concepto.	La velocidad de una corriente “es un campo vectorial...”. Reconoce el carácter vectorial sin explicar su significado.
N ₂	<i>Reconocimiento de un campo y explicación parcial de significados científicos del concepto:</i> reconoce situaciones y clasifica magnitudes Físicas usando el concepto de campo con explicaciones referidas a aspectos parciales del concepto. Usa limitadamente algunas operaciones y representaciones simbólicas, sin vincularlas completamente con una representación u operación ligada al concepto. No se infiere una aplicación de conocimientos-en-acción del concepto en la resolución de un problema.	La temperatura en una sartén es un campo escalar, porque “irradia desde el centro hasta hacerse homogénea...”. Calcula vectores de un campo en diversos puntos de un plano, pero los dibuja en un mismo punto.
N ₃	<i>Transición entre un reconocimiento y significación parcial del concepto de campo, con aplicación del concepto a situaciones y problemas:</i> reconoce situaciones y clasifica magnitudes usando el concepto de campo. Sus explicaciones reflejan organización y comprensión de los significados, operaciones y representaciones simbólicas del concepto de campo, pero sin lograr conectarlas completamente. Usa el concepto de campo en la resolución de un problema, con una explicitación limitada mediante representaciones simbólicas o expresiones escritas de los conocimientos- en- acción usados en la resolución.	Velocidad del agua en una corriente “...es un campo vectorial porque depende de sus coordenadas y de su posición...”. El mismo sujeto en otra situación afirma “...un fluido es un medio homogéneo y continuo en que sus propiedades son continuas en todo su ser...” para explicar que un modelo de sistema de partículas describe un fluido en movimiento.
N ₄	<i>Aprehensión del concepto de campo para el nivel de instrucción:</i> manifiesta comprensión y explicitación de conocimientos-en-acción del concepto para describir el comportamiento de una magnitud Física definida en cada punto de una región del espacio y del tiempo. Usa operaciones, representaciones simbólicas y propiedades del concepto de campo en situaciones y problemas.	

En la Figura 4.10, se muestra la distribución porcentual del número de estudiantes en cada uno de los niveles de conceptualización.

El 100 % de los estudiantes se ubica en los tres niveles más bajos de conceptualización, los cuales son consistentes con bajos desempeños globales en todas las categorías (ver Fig. 8). Esto, confirma la idea, que un bajo nivel de conceptualización, se caracteriza por bajos niveles de explicitación de invariantes operatorios y sus representaciones, predominando aspectos procedimentales de las operaciones sobre el uso de predicados de mayor riqueza conceptual (Vergnaud, 1998).

Figura 4.10: Distribución estudiantes según niveles de conceptualización

En la categoría de operación, se observa el predominio de aspectos procedimentales, pues en las operaciones ligadas al concepto de campo, el desempeño máximo obtenido es 0,65 (ver Tabla 4.11), que corresponde al cálculo de vectores de un campo vectorial a partir de su expresión analítica. Sin embargo, en otras operaciones más complejas, que describen propiedades de invariantes físicos propios del concepto de campo, como flujo y circulación, el desempeño de los estudiantes es muy bajo (0,10).

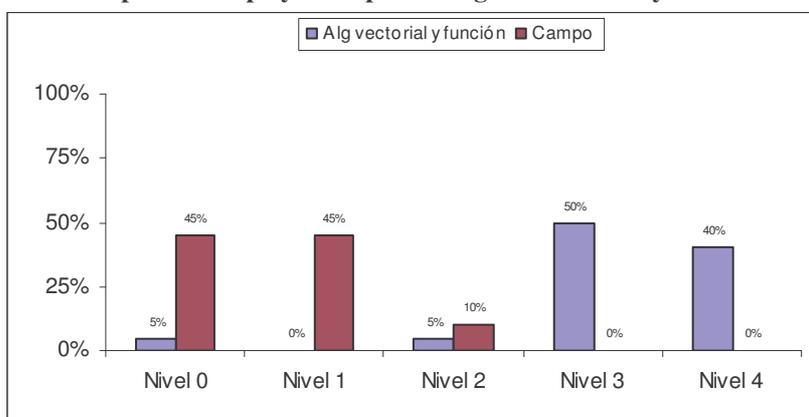
En consecuencia, los niveles bajos se relacionan, más bien, con niveles bajos de explicitación de invariantes físicos del concepto de campo, con predominio de aspectos procedimentales asociados a invariantes de objetos matemáticos del concepto de campo. Esto se confirma en el desempeño en las operaciones de álgebra vectorial (Tabla 4.11), cuyos valores son superiores a los obtenidos en operaciones ligadas al concepto de campo. Además, el hecho de que ningún estudiante alcance los Niveles 3 y 4, es coherente con la actuación observada en Resolución (Tabla 4.11), que muestra que la disponibilidad conceptual en problemas, que demandan el uso de propiedades, relaciones y transformaciones científicas del concepto de campo es escasa.

Llama la atención que el mayor nivel conceptualización alcanzado para el concepto de campo sea el Nivel 2, con un 10 % de los estudiantes, que corresponde sólo a un reconocimiento y explicación parcial de significados de este concepto. Pareciera ocurrir que el repertorio de esquemas disponibles para enfrentar situaciones del concepto de campo, no es comparable con los esquemas que subyacen a una conceptualización de los conceptos de álgebra vectorial y función. Esto último, puede explorarse, del mismo modo que en el caso del concepto de campo, se definen niveles de conceptualización para los conceptos de álgebra vectorial y función.

Con este propósito se consideraron los desempeños de los 12 ítems de los conceptos álgebra vectorial y función, y se realizó un procedimiento de cálculo de transformación de datos, similar al seguido para determinar los niveles de conceptualización del concepto de campo. Una vez realizado tal procedimiento, se asignó a cada estudiante un nivel de conceptualización de los conceptos de álgebra vectorial y función. En la Figura 4.11, se presenta y compara la distribución porcentual de los estudiantes en los niveles de conceptualización de los conceptos de álgebra vectorial y función, y el concepto de campo.

Este resultado muestra que las distribuciones de los estudiantes en los niveles de conceptualización son opuestas. En el caso del concepto de campo, como había mostrado anteriormente, el 90% de los estudiantes se ubica en los dos niveles más bajos de conceptualización, en cambio, en el caso de los conceptos de álgebra vectorial y función, la distribución en los niveles de conceptualización es inversa. En este caso, el 90% de los estudiantes se ubican en los dos niveles más altos de conceptualización, que se desagregan en 40% en el nivel de aprehensión de estos conceptos, y 50% en el nivel de transición a este último.

Figura 4.11: Distribución estudiantes en niveles de conceptualización del concepto de campo y conceptos de álgebra vectorial y función



4.3. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO 1

Los resultados de este estudio muestran que la mayoría de los estudiantes no usan invariantes para interpretar las situaciones desde el concepto de campo. La ausencia de invariantes físicos y matemáticos del concepto de campo, concuerda con resultados de investigaciones (Furió y Guisasola, 2001; Guisasola, 2001), que destacan, que cuando los

estudiantes se enfrentan a una “...*cuestión de conflicto cognitivo*...” (Guisasola, 2001 p.60) como la jaula de Faraday, que requiere una concepción de la interacción eléctrica apoyada en el concepto de campo y la ley de Gauss, el número de respuestas correctas es bajo, incluso en niveles universitarios.

La mayoría de los estudiantes dan sentido a las situaciones desde invariantes de los conceptos de álgebra vectorial y función, aún cuando no logran acomodar estos invariantes a esquemas más generales que representen el concepto de campo; sólo una minoría acomoda sus esquemas a la representación del concepto de campo.

Otro aspecto importante de destacar, es el mejor desempeño en el uso de representaciones simbólicas geométricas y pictóricas sobre el uso de representaciones analíticas de tipo proposicional. La representación de vectores por flechas y función por gráfico, tienen valores altos 1,00 y 0,90 respectivamente (Tabla 4.11). En cambio, las representaciones de vector por componente y función por ecuación tienen un puntaje menor (0,90 y 0,80). Las representaciones de campo son similares, manteniéndose el predominio de representaciones geométricas sobre las analíticas. La misma tendencia, se observa en Operación, donde el puntaje obtenido en suma y resta de vectores mediante flechas (0,83) es superior, al obtenido en las mismas operaciones en representación de componentes (0,78).

Respecto al uso de representaciones lingüísticas -expresión escrita- las expresiones utilizadas para clasificar, mediante los conceptos de escalar y vector son superiores que las expresiones usadas para justificar clasificaciones y explicar situaciones usando el concepto de campo (Tabla 4.11). Probablemente, este hecho, indique un uso limitado y una baja disponibilidad de instrumentos semióticos de representación simbólica para dar significado a sus acciones en las situaciones, dificultando la asimilación de conceptos de mayor complejidad y abstracción como es el concepto de campo (Vergnaud, 1998).

Para finalizar, es importante resaltar que los conceptos no sólo deben ser definidos por su estructura, sino que además se requiere considerar las situaciones en las cuales son usados y los sistemas de representación simbólica que los estudiantes utilizan para pensar y escribir acerca de un concepto.

Los resultados de este estudio, contribuyen a la consolidación de esta metodología, para mejorar la caracterización de las representaciones o conocimientos-en-acción del campo conceptual del concepto de campo. Ampliar el diseño y aplicación de otros instrumentos similares, que permitan recoger nuevos datos a medida que los estudiantes avanzan en el desarrollo de una asignatura.

Las implicaciones de este estudio apuntan a la realización de nuevos estudios, durante la marcha de la asignatura, que aporten conocimiento sobre el proceso de adquisición, dominio y progresividad del aprendizaje significativo del campo conceptual del concepto de campo.

CAPÍTULO 5

ESTUDIO 2:

AVANCES EN EL DOMINIO DEL CAMPO CONCEPTUAL

Este estudio corresponde a una fase intermedia, de la investigación diseñada para alcanzar los objetivos de la tesis. El propósito principal fue usar la *Teoría de los campos conceptuales*, para evaluar su potencialidad de hacer un seguimiento del proceso de conceptualización del concepto de campo, que van adquiriendo los estudiantes durante el desarrollo del curso de “*Electricidad y Magnetismo*”.

De acuerdo con las hipótesis que orientan y guían la investigación, la realización de este estudio, supuso presentar nueva información a los participantes, acerca de significados del concepto de campo. Luego, como al inicio del curso, enfrentarlos a situaciones y problemas, presentadas en diferentes formatos representacionales.

Todo lo anterior, para investigar dos aspectos. Primero, averiguar si es posible detectar avances en la progresividad del aprendizaje del concepto de campo, caracterizado por un proceso de desarrollo conceptual, que se manifieste a través de cambios observables en las representaciones del concepto, que construyen los estudiantes (Caballero, 2004; Moreira, 2000). Específicamente, inferir cambios de los invariantes operatorios de los esquemas usados, para explicar las situaciones y uso de representaciones simbólicas del concepto de campo. En segundo lugar, evaluar la posibilidad de usar la metodología ideada como un diseño metodológico adecuado para investigar y caracterizar avances del proceso de conceptualización, en un contexto de enseñanza, definido por los niveles de conocimiento previo y los objetivos del curriculum. En consecuencia, este estudio tuvo como objetivos:

- a) Explorar avances en el proceso de desarrollo conceptual, a partir de las relaciones entre la estructura del concepto de campo y los diferentes grados de desarrollo conceptual que construyen los participantes durante el proceso de enseñanza.
- b) Determinar niveles de conceptualización del concepto de campo después de un acto de mediación.

Para obtener datos que permitieran alcanzar los objetivos planteados para este estudio, se diseñó un taller acerca del concepto de campo, estructurado en dos partes.

Parte I. Lectura de un documento. Consistió en la presentación a los participantes de un documento breve, para su lectura y análisis, con significados del concepto de campo en Física. Y una discusión de la lectura mediada por el profesor.

Parte II. Cuestionario de situaciones. Se enfrentó a los participantes a cuatro situaciones con tareas y problemas de lápiz y papel que elicitaban representaciones del concepto.

En resumen, se buscaba diseñar y aplicar una metodología, basada en la *Teoría de campos conceptuales*, para determinar y caracterizar avances del proceso de conceptualización y adquisición del campo conceptual del concepto de campo.

5.1. MÉTODO

5.1.1. PARTICIPANTES

La muestra estuvo conformada por 18 estudiantes (13 hombres y 5 mujeres), entre 18 y 23 años de edad, del curso de *Electricidad y Magnetismo* de la carrera de Ingeniería de la Universidad de La Frontera, que al inicio del curso habían contestado el Cuestionario N° 1. La variación del número de participantes de la muestra respecto del Estudio 1, se debe a la inasistencia al Taller 1 de dos estudiantes.

5.1.2. MATERIALES

Parte I. Se diseñó un documento acerca del concepto de campo en Física (ver Anexo 2), el cual fue entregado a cada uno de los participantes para su lectura, y una posterior discusión mediada por el profesor.

Parte II. Se elaboró un cuestionario con cuatro situaciones con tareas y problemas en formato gráfico y escrito (ver Anexo 2), con contenidos físicos y matemáticos del concepto de campo que elicitaban representaciones del concepto. De las cuatro situaciones, se repitieron tres situaciones del Cuestionario 1, con algunas modificaciones, y se agregó una situación nueva, acerca de representaciones simbólicas y pictóricas del concepto de campo.

5.1.3. PROCEDIMIENTO

El taller se realizó en la sala de clases, y se aplicó al mismo grupo de estudiantes del curso de “Electricidad y Magnetismo”, que contestó el Cuestionario 1 del Estudio 1. La realización del Taller 1 tuvo una duración de 60 minutos aproximadamente. Al inicio del taller, cada estudiante leyó en forma individual el documento, acerca del concepto de campo en física. Luego, se realizó una breve discusión con toda la clase, donde se respondieron y comentaron preguntas de los estudiantes. Como actividad de cierre y síntesis, se escribió en el pizarrón una definición general de los conceptos de campo escalar y campo vectorial, y se comentaron sus significados. La definición construida enfatiza la idea, que un campo es una función, que asocia a cada punto del espacio e instante de tiempo una magnitud física, escalar o vectorial. Durante la discusión, no se usaron representaciones simbólicas de los conceptos.

5.1.4. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los datos obtenidos se sometieron a un proceso de codificación de acuerdo a las mismas cinco categorías de análisis definidas para el Estudio 1. Esto es, Clasificación (CL); Expresión Escrita (EE); Representación (RP); Operación (OP) y Resolución (RS), cuya definición y descripción se presentó en la Tabla 4.2 del Estudio 1.

La fiabilidad se realizó mediante un análisis de contenidos de las situaciones y los presupuestos teóricos que le dieron origen, sometiendo el instrumento al juicio de un físico e investigador en educación en ciencias. El análisis de consistencia de los puntajes, se realizó mediante el coeficiente α . La síntesis del análisis de fiabilidad se presenta en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Síntesis análisis de fiabilidad del instrumento

Puntaje Total	Media puntaje total	Desviación Típica	Número de ítem	Coefficiente Alfa
22	8,44	4,3	5	0,85

Como una posibilidad de eliminar alguna categoría para mejorar el coeficiente α se calcularon los coeficientes de correlación r , entre el puntaje en cada categoría y el puntaje total. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Coeficientes de correlación de Pearson entre puntaje total y puntaje de cada ítem

Categoría	CL	EE	RP	OP	RS
Coeficiente de correlación r	0,904	0,928	0,833	0,609	0,782

Los valores de los coeficientes de correlación son $\geq 0,609$. Por lo tanto, se estima que el valor $\alpha = 0,85$ indica que los puntajes generados son estadísticamente confiables.

5.2. RESULTADOS

En el análisis e interpretación de los datos, se usó la misma metodología del estudio anterior. Las respuestas de los participantes se analizaron cualitativamente y agruparon en 22 ítems, distribuidos en las cinco categorías: Clasificación (CL) 6 ítems; Expresión Escrita (EE) 8 ítems; Representación (RP) 5 ítems; Operación (OP) 1 ítem y Resolución 2 ítems (RS). Se asignó a cada estudiante una puntuación de acuerdo a la concordancia de sus respuestas con los significados científicos de los conceptos medidos. Se otorgó una puntuación de 1,0 a las respuestas *totalmente correctas*; 0,5 a las *parcialmente correctas* y 0 a las *incorrectas*. En consecuencia, la puntuación máxima posible de obtener fue de 22. En la Tabla 5.3 se presenta la distribución de ítems por situación y categorías de análisis.

Tabla 5.3: Distribución y descripción de ítems según situación y categorías.

Situación	Descripción	CL	EE	RP	OP	RS	Puntos
1	Ejemplo situación campo escalar	CL1	EE1				2
	Ejemplo situación campo vectorial	CL2	EE2				2
2	Clasificación y explicación de una imagen de un campo escalar	CL3	EE3				2
	Clasificación y explicación de una imagen de un campo vectorial	CL4	EE4				2
	Clasificación, explicación y representación de una ecuación de campo escalar	CL5	EE5	RP1			3
3	Clasificación, explicación y representación de una ecuación de campo escalar vectorial	CL6	EE6	RP2			3
	Representación y explicación de la velocidad corriente		EE7	RP3			2
	Representación y explicación de la temperatura de una sartén		EE8	RP4			2
	Problema partícula en un campo de fuerzas				OP1	RS1	2
4	Problema acción del campo sobre partícula			RP5		RS2	2
	Total	6	8	5	1	2	22

5.2.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DESEMPEÑO SEGÚN CATEGORÍAS

5.2.1.1. CLASIFICACIÓN

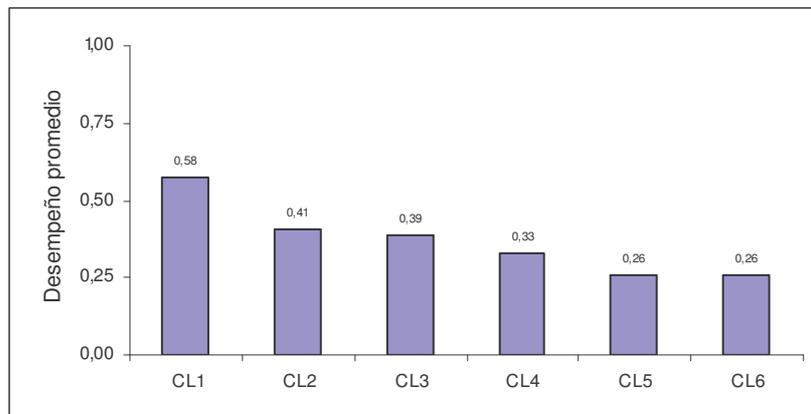
De acuerdo con la definición de esta categoría, estos resultados describen presencia de clasificación en acuerdo con significados del campo conceptual. En la Tabla 5.4, se presentan los resultados del desempeño promedio de los estudiantes por ítem y situación.

Tabla 5.4: Desempeños promedio en la categoría clasificación

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
CL1	Clasificación ejemplo de un campo escalar	0,58	1
CL2	Clasificación ejemplo de campo vectorial	0,41	1
CL3	Clasificación imagen de un campo escalar	0,39	2
CL4	Clasificación imagen de un campo vectorial	0,33	2
CL5	Clasificación ecuación de un campo escalar	0,26	2
CL6	Clasificación ecuación de un campo vectorial	0,26	2

En la Figura 5.1, se observa que los ítems de la Situación 1, que miden la proposición de ejemplos de situaciones cotidianas de campo escalar y vectorial, tienen los mayores desempeños 0,58 y 0,41. Esta misma situación fue incluida en el Cuestionario 1 aplicado al inicio del curso. En tal caso los desempeños de clasificación fueron inferiores, con valores de 0,13 y 0,28 respectivamente. Este resultado podría indicar una asimilación de significados de atributos del concepto de campo, adquiridos durante la enseñanza.

Figura 5.1: Desempeño promedio en la categoría clasificación



En la Situación 2, los desempeños de clasificación de representaciones simbólicas de un campo escalar y vectorial son bajos $\leq 0,39$. No obstante, llama la atención, el mayor desempeño de clasificación, en representaciones por imágenes de campos escalar y vectorial (0,39 y 0,33) mayores que las representaciones por ecuaciones (0,26) para ambos conceptos.

En forma preliminar, estos resultados parecen sugerir, que los esquemas de los estudiantes, contienen significados científicos iniciales del concepto de campo, sin embargo, también se observa, que la mayoría, no asimila aún estos significados, lo cual se manifiesta en el bajo desempeño en los ítems de representaciones simbólicas del concepto de campo. Por otra parte, si se tiene presente, los altos desempeños en los conceptos de álgebra vectorial y función mostrados al inicio del curso (ver Estudio 1), los desempeños en esta categoría, parecerían desvelar dificultades de los estudiantes, para acomodar sus conocimientos-en-acción de conceptos de álgebra vectorial y función, a situaciones que involucren un campo.

5.2.1.2. EXPRESIÓN ESCRITA

Los resultados de desempeño en esta categoría, representan la presencia de expresiones escritas, con predicados correctos del concepto de campo, usados por los estudiantes para explicar clasificaciones realizadas. Los desempeños promedio por ítem y situación para esta categoría se presentan en la Tabla 5.5 y Figura 5.2.

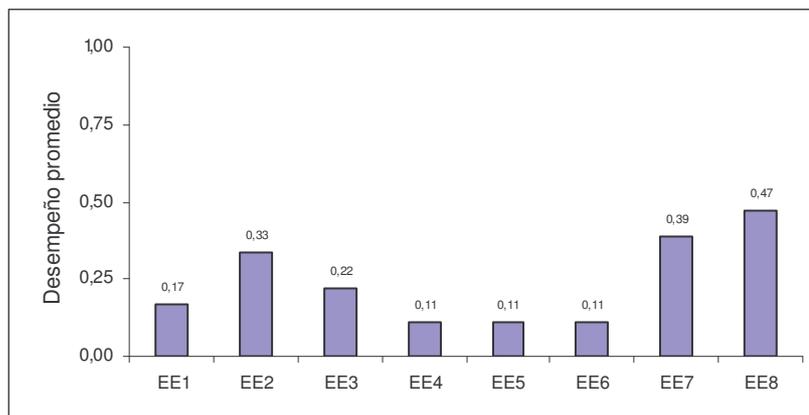
Tabla 5.5: Desempeño promedio en la categoría expresión escrita

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
EE1	Explicación para ejemplo de campo escalar	0,17	1
EE2	Explicación para ejemplo campo vectorial	0,33	
EE3	Explicación imagen de un campo escalar	0,22	2
EE4	Explicación imagen de un campo vectorial	0,11	
EE5	Explicación ecuación de un campo escalar	0,11	
EE6	Explicación ecuación de un campo vectorial	0,11	
EE7	Explicación de representación velocidad corriente como un campo escalar	0,39	3
EE8	Explicación de representación temperatura sartén como un campo escalar	0,47	

En general, estos resultados muestran que el uso de expresiones con significados correctos es bajo. En la Figura 5.2, se observan valores de desempeños $\leq 0,47$, en todos los

ítems. Sin embargo, destaca el mayor valor relativo de los desempeños de los ítems de la Situación 3 (0,39 y 0,47), que corresponden a explicaciones de representaciones propuestas por los estudiantes, para la velocidad de una corriente y la temperatura de una sartén, como ejemplares de campos vectorial y escalar.

Figura 5.2: Desempeño promedio en la categoría expresión escrita



Por otra parte, llama la atención, que para las Situaciones 1 y 2, el desempeño en cada ítem de esta categoría (EE) sea menor que los desempeños de la categoría clasificación (CL). Así, en la Situación 1, se observan desempeños de CL 0,58 y 0,41, para la clasificación de ejemplos de situaciones de campo escalar y vectorial, mientras que en EE, las expresiones que explican éstas clasificaciones, tienen un desempeño menor, con valores 0,17 y 0,33 respectivamente.

Lo mismo en la Situación 2, los desempeños en clasificación son CL son 0,39; 0,33; 0,26; 0,26, en cambio, en EE son todos menores 0,22; 0,11; 0,11; 0,11.

Los desempeños en esta categoría, podrían interpretarse como un indicador de las dificultades, que aumentan en situaciones que demandan una conceptualización mayor (Vergnaud, 1998). Esto explicaría los bajos desempeños observados en los ítems de expresiones escritas referidas a explicaciones de comprensión de representaciones simbólicas del concepto de campo, menores que el desempeño en ítems que se refieren a explicaciones de atributos del concepto.

El hecho que los desempeños en los ítems EE, que explican las representaciones propuestas para la velocidad de una corriente y la temperatura de una sartén como ejemplares de campo, sean menores al desempeño en la categoría de representación (ver Tabla 7), podría estar mostrando la existencia de dificultades de explicitación mediante el uso del lenguaje natural de las representaciones simbólicas del concepto de campo.

5.2.1.3. REPRESENTACIÓN

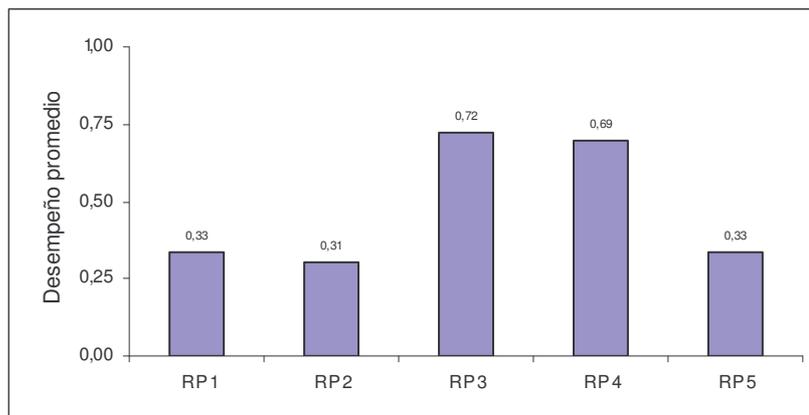
Los resultados de esta categoría, describen desempeños en el uso de representaciones simbólicas y pictóricas de conceptos matemáticos y físicos asociados al concepto de campo. Estos resultados se presentan en la Tabla 5.6 y Figura 5.3.

Tabla 5.6: Desempeño promedio en la categoría representación.

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
RP1	Representación pictórica para ecuación campo escalar	0,33	2
RP2	Representación pictórica para ecuación campo vectorial	0,31	2
RP3	Representación velocidad corriente como campo vectorial	0,72	3
RP4	Representación temperatura una sartén como un campo escalar	0,69	3
RP5	Representación acción campo fuerza	0,33	4

En la Figura 5.3, se observa un desempeño notoriamente mayor (0,72 y 0,69) para las representaciones de la velocidad de una corriente y temperatura de una sartén de la Situación 2. En cambio, en los ítems RP de la Situación 3, que se refieren a la construcción de representaciones pictóricas de dos ecuaciones que representan a un campo escalar y vectorial los desempeños son bajos 0,33 y 0,31 respectivamente. Lo mismo en la Situación 4, donde el desempeño para la representación de un campo de fuerza por vectores es 0,33. Es importante mencionar que el desempeño en este mismo ítem en el Estudio 1 tiene un valor similar (0,30). Este resultado, muestra la permanencia de dificultades para representar y comunicar resultados de operaciones asociadas a un campo vectorial.

Figura 5.3: Desempeño en la categoría representación



En general, los bajos valores y dispersión de los desempeños en esta categoría, pueden interpretarse desde la teoría de Vergnaud (1998), que enfatiza en la aparición de

dificultades de explicitación de significados de los conceptos, mediante el uso de representaciones simbólicas y lenguaje, en situaciones que demanden una conceptualización mayor.

5.2.1.4. OPERACIÓN

El valor de desempeño obtenido en esta categoría mostrado en la Tabla 5.7, describe el desempeño del cálculo de un conjunto de vectores de un campo de fuerzas presentado mediante una ecuación matemática. Sin embargo, llama la atención que el desempeño de representación correcta de estos mismos vectores sea mucho menor (0,33).

Tabla 5.7: Desempeño promedio en la categoría operación

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
OP1	Cálculo fuerzas ejercidas por campo de fuerzas	0,78	4

Este resultado puede interpretarse, como una evidencia de dificultades ya identificadas en el Estudio 1, para representar los vectores de un campo vectorial en puntos del espacio, poniendo de manifiesto una incompreensión del concepto de campo, como una función que asocia magnitudes vectoriales a cada punto del espacio.

5.2.1.5. RESOLUCIÓN

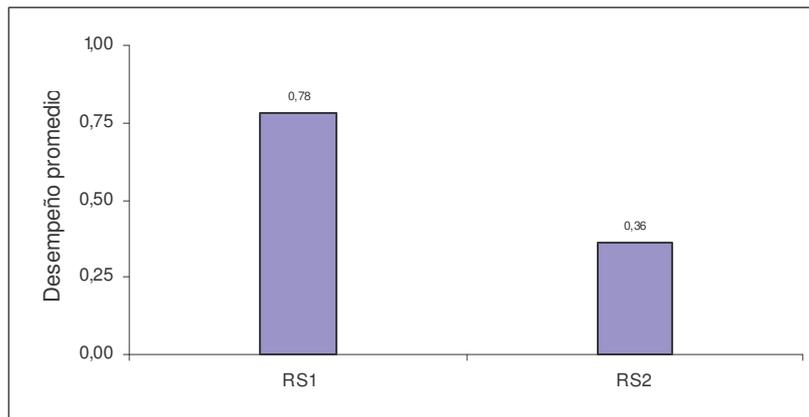
Estos desempeños describen la disponibilidad conceptual de los estudiantes, en términos de propiedades, relaciones y transformaciones, científicamente correctas, del concepto de campo en la resolución de un problema. Estos resultados se presentan en la Tabla 5.8 y en la Figura 5.4.

Tabla 5.8: Desempeño promedio en la categoría resolución

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
RS1	Problema cálculo fuerzas ejercida por un campo sobre partícula en una trayectoria	0,78	4
RS2	Problema descripción e interpretación acción de un campo sobre una partícula en una trayectoria	0,36	

Los desempeños de esta categoría corresponden a dos ítems de resolución de problemas relacionados entre sí. En el primer problema, se pide determinar valores de un campo de fuerzas sobre una trayectoria definida, y luego, representar e interpretar la acción del campo sobre una partícula que se mueve por esta misma trayectoria. En la Figura 5.4, se observa que los desempeños son muy dispares entre sí con valores 0,78 y 0,36 respectivamente.

Figura 5.4: Desempeño en la categoría resolución



Este resultado muestra una disponibilidad conceptual, aún baja de los estudiantes, para enfrentar problemas que demandan aplicación del concepto de campo, las cuales aumentan en la medida que crece la complejidad de los significados a usar en el desarrollo de una tarea.

5.2.2. DESEMPEÑO EN LAS CATEGORÍAS SEGÚN CONCEPTOS

Con el propósito de averiguar si existen diferencias entre los desempeños de los conceptos de campo escalar y campo vectorial, se agruparon éstos en dos grupos, como se muestra en la Tabla 5.9. Con el propósito de averiguar si existen diferencias significativas entre estos grupos de conceptos, se calcularon los desempeños globales por grupo en cada una de las categorías.

Los resultados de estos cálculos de desempeño global, según las medias del puntaje obtenido por los estudiantes participantes, en los grupos de conceptos de campo escalar y campo vectorial, sobre una escala de 0 a 1,00, se muestran en la Tabla 5.10.

Tabla 5.9: Desempeño promedio en las categorías según conceptos

Categorías	CL	EE	RP	OP	RS
Conceptos					
Campo escalar	0,58	0,17			
	0,39	0,22			
	0,26	0,11	0,31		
		0,47	0,69		
Campo vectorial	0,41	0,33			
	0,33	0,11			
	0,26	0,11	0,33		
	0,26	0,11	0,31		
		0,39	0,72		
				0,78	0,78
		0,33		0,36	

Al analizar la Tabla 5.10, se observan diferencias en los valores de las medias y en las desviaciones. Sin embargo, no existe ninguna diferencia estadísticamente significativa entre los desempeños para campo escalar y campo vectorial, en ninguna de las categorías comparadas. Los resultados de comparación son: en CL ($t(17) = 1,445, p < ,167$); en EE ($t(17) = 0,128, p < ,899$), y en RP ($t(17) = 0,770, p < ,452$).

Tabla 5.10: Medias, desviaciones del puntaje global y número de participantes

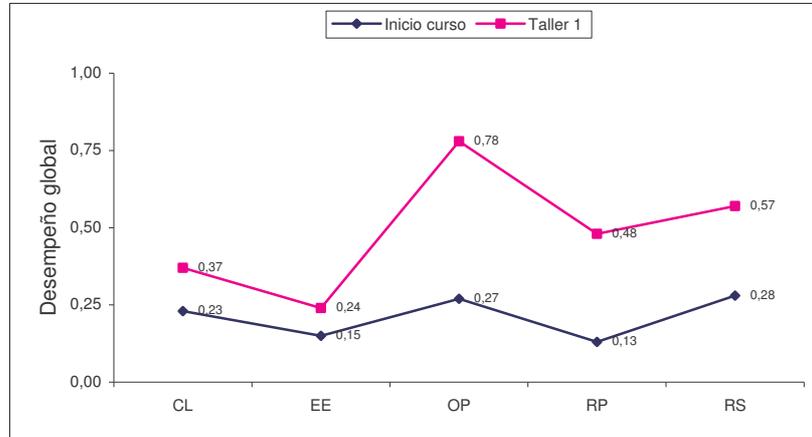
Categoría	Campo escalar		Campo vectorial		N
	Media	Desviación	Media	Desviación	
CL	0,41	0,27	0,33	0,18	18
EE	0,24	0,25	0,24	0,19	18
RP	0,50	0,28	0,46	0,25	18
OP			0,78	0,35	18
RS			0,57	0,35	18

Por lo tanto, no es necesario hacer distinción entre los desempeños por grupo de conceptos. Luego, se consideraran juntos, bajo un mismo rótulo de concepto de campo, sin hacer una distinción explícita entre campo escalar y vectorial, de igual modo a lo realizado en el Estudio 1, al inicio del curso.

En la Figura 5.5, se muestra una comparación entre los desempeños globales para el concepto de campo, en cada una de las categorías al inicio del curso y en el Taller 1. Se observa una progresividad apreciable de los estudiantes participantes en esta investigación, en el aprendizaje del campo conceptual del concepto de campo, que se manifiesta en un incremento de los valores de desempeño global en cada una de las categorías. Los desempeños del Taller 1, se distribuyen en una banda superior de amplitud $\Delta_{Taller1} = 0,54$ que tiene por límites 0,24 y 0,78. En cambio, los desempeños al inicio del curso se

distribuyen en una banda inferior de amplitud mayor $\Delta_{IC} = 0,15$ con límites entre los valores 0,13 y 0,28 respectivamente.

Figura 5.5: Desempeños globales del concepto de campo en Taller 1 e Inicio del curso



También, llama la atención, la mayor diferencia entre los desempeños del Taller 1 e inicio del curso en las categorías OP, RP y RS. Por este motivo, se procedió a ordenar los desempeños de las categorías por diferencia. Estos resultados se muestran en la Tabla 5.11, donde se aprecia que las mayores variaciones ($\geq 0,29$) corresponden a desempeños en las categorías OP, RP y RS, con un valor de diferencia mayor en la categoría OP (0,51). En cambio las menores variaciones ($\leq 0,14$) son en las categorías CL y EE, con una menor diferencia (0,09) en la categoría EE.

Probablemente estas variaciones tan diferentes entre estos subgrupos de categorías, sea un indicador para el proceso de aprendizaje del concepto de campo. Este comenzaría por una acomodación de esquemas, caracterizado por un proceso de transición, donde prevalece el uso de invariantes asociados a procedimientos de cálculo y uso de representaciones simbólicas, con una explicitación menor de significados. Las bajas variaciones en las categorías CL y EE reflejarían una asimilación parcial del concepto.

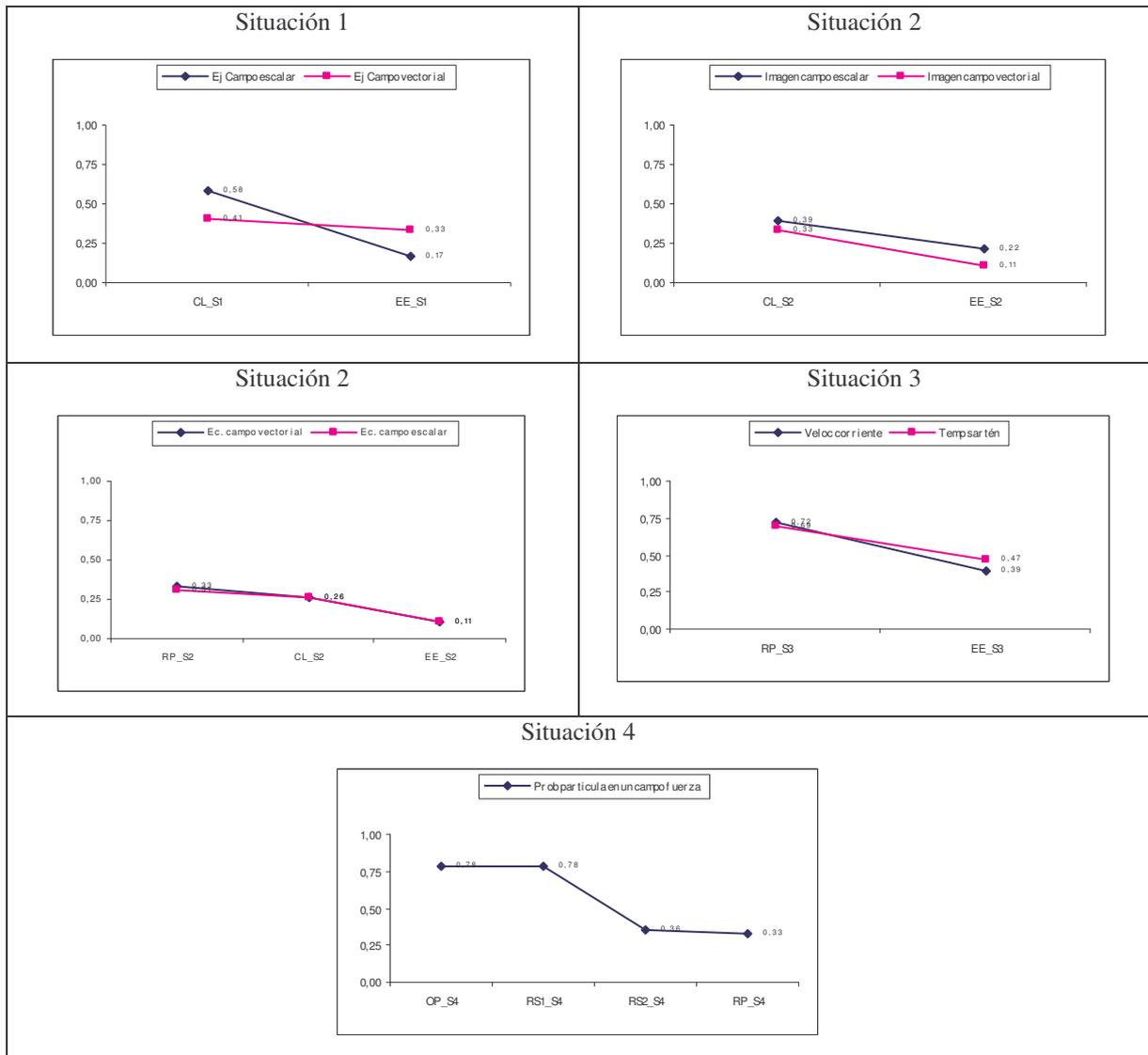
Tabla 5.11: Desempeños por categorías Taller 1 e Inicio del curso ordenadas por diferencia

Categoría	Taller 1	Inicio curso	Diferencia
OP	0,78	0,27	0,51
RP	0,48	0,13	0,35
RS	0,57	0,28	0,29
CL	0,37	0,23	0,14
EE	0,24	0,15	0,09

5.2.3. DESEMPEÑO EN LAS CATEGORÍAS SEGÚN CONTENIDO DE LAS SITUACIONES

De igual manera a lo realizado en el Estudio 1, se estimó conveniente, analizar e interpretar el desempeño en cada Situación, en función de los contenidos incluidos en cada una de ellas. Así, para cada situación, se agruparon los desempeños en series, que tienen por elementos, los desempeños de los ítems que se refieren a un contenido o concepto específico. En la Figura 5.6, se presentan estas series de desempeño para cada Situación, con sus valores ordenados de mayor a menor.

Figura 5.6: Desempeño promedio según contenidos de cada situación



En general, se observa en las series de desempeño de la Figura 7, algunas regularidades y concordancias que se comentan a continuación:

En las series que incluyen ítems de las categorías clasificación y expresión escrita (Situaciones 1 y 2), el desempeño de clasificación es superior al desempeño de expresión escrita ($CL > EE$). Este comportamiento podría estar mostrando dificultades de los estudiantes, para explicitar por medio del lenguaje escrito, conocimientos-en-acción usado al clasificar. Estas dificultades son mayores, a medida que aumenta la complejidad de los significados de los conceptos, lo cual ocurre cuando se enfrentan con los significados de las representaciones simbólicas del concepto de campo (Situación 2). Este resultado, concuerda con las diferencias en el desempeño global en las categorías CL y EE mostrada en la Figura 5.5.

En las series con ítems de las categorías Representación y Expresión Escrita (Situaciones 2 y 3), los desempeños se ordenan de la forma $RP > EE$. Este comportamiento, estaría mostrando dificultades de los estudiantes, para explicitar por medio del lenguaje escrito, conocimientos-en-acción al enfrentarse al uso y comprensión de significados del concepto campo y sus representaciones simbólicas. Estas dificultades aumentan al enfrentar representaciones del concepto de campo expresadas mediante ecuaciones (Situación 2), que tienen menor desempeño que las representaciones tipo imagen.

En el caso de la serie de la Situación 4, se observa que los desempeños se ordenan de la forma $OP > RS1 > RS2 > RP$. El menor desempeño de la serie corresponde a $RP = 0,33$, lo cual muestra, una baja disponibilidad y escaso uso de representaciones simbólicas del concepto de campo. Por otra parte, que los desempeños de OP y RS, sean mayores a RP podría indicar, que si bien, algunos estudiantes disponen de invariantes para enfrentar situaciones que involucran comprensión de significados del concepto de campo, la mayoría aún no usa representaciones simbólicas adecuadas para otorgar significado a las situaciones que enfrentan. Además, se observa el predominio de un mejor desempeño en aspectos procedimentales.

5.2.4. NIVELES DE CONCEPTUALIZACIÓN DEL CONCEPTO DE CAMPO

Para averiguar la existencia de avances en el proceso de conceptualización, se analizó el desempeño de cada estudiante en el Taller 1, de igual manera que en el Estudio 1

asignando el desempeño obtenido, a uno de los cinco niveles de conceptualización, definidos en el Estudio 1 (ver Tabla 4.12). En consecuencia, de igual modo que en el estudio anterior, la asignación a un nivel de conceptualización, se determinó a partir del puntaje de desempeño ponderado (*PDP*) obtenido en el conjunto de los 22 ítems del Taller 1. En la determinación del *PDP* se mantuvieron las ponderaciones definidas para cada categoría del Estudio 1, esto es, *Clasificación* 10%, *Expresión escrita* 15%, *Representación*, *Operación* y *Resolución* 25%. Así, de acuerdo con el número de ítems y ponderaciones definidas, el puntaje de desempeño ponderado, se determinó por la expresión.

$$PDP = \frac{2,2}{6} CL + \frac{3,3}{8} EE + \frac{5,5}{5} RP + \frac{5,5}{1} OP + \frac{5,5}{2} RS$$

donde, CL, EE, RP, OP y RS es el desempeño en cada categoría. Luego, los puntajes *PDP* se transformaron a una escala de conceptualización de 0 a 5 puntos, con rangos de variación en una unidad para cada nivel de conceptualización. Los resultados correspondientes al grado de conceptualización, según las medias del puntaje de conceptualización obtenido por los estudiantes participantes, tanto en el Taller 1, como al inicio del curso, sobre una escala de 0 a 5, se muestran en la Tabla 5.12.

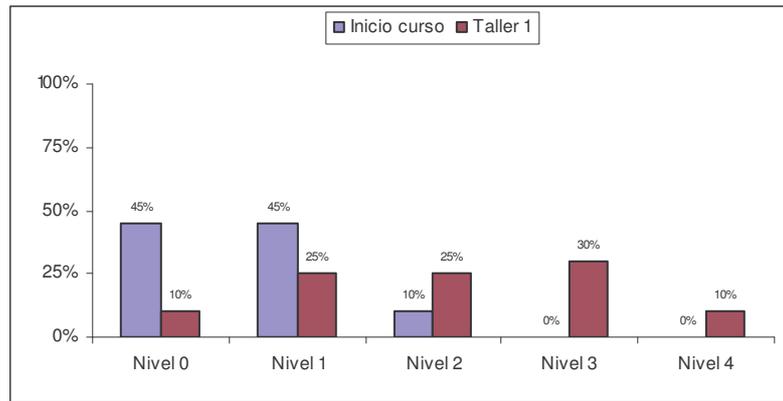
Tabla 5.12: Medias, desviaciones del puntaje de conceptualización y participantes al inicio y término del curso

Grado conceptualización	Medias	Desviación	Participantes
Inicio curso	1,01	0,58	20
Taller 1	2,65	1,22	18

Al analizar la Tabla 5.12, se observa que el grado de conceptualización es significativamente mayor en el Taller 1 ($t(17) = -5,982, p < ,000$), siendo 1,64 la diferencia entre las medias del Taller 1 y al inicio del curso.

En la Figura 5.7 se muestra la distribución de los estudiantes en cada nivel de conceptualización en el Taller 1 e inicio del curso. Se aprecia que el 40% de los estudiantes alcanzan los Niveles 3 y 4 de conceptualización, correspondiente a los niveles superiores de la escala, los cuales no fueron alcanzados al inicio del curso. Esto significa después de la realización del taller, que el 10 % de los estudiantes alcanza un nivel de aprehensión de los significados del concepto de campo tratados hasta la realización de éste, y un 30% alcanza una conceptualización de transición, que equivale a un reconocimiento y significación parcial del concepto, con aplicación a situaciones.

Figura 5.7: Distribución estudiantes según niveles de conceptualización



Un 25 % alcanza el Nivel 2 de reconocimiento de un campo, con una explicitación parcial de significados científicos. Además, un 35% de los estudiantes, se ubica en los Niveles 1 y 0 más bajos de conceptualización.

Es importante destacar, que al comparar la distribución por niveles del Taller 1 e Inicio del curso, se aprecia un avance notable. Un 55% de los estudiantes abandonan los niveles más bajos de conceptualización. Este resultado es coherente, con el progreso del desempeño global en todas las categorías mostrado en la Figura 5.7, analizado en la sección anterior (Tabla 5.12). Este avance se caracterizaría por un predominio de adquisición de invariantes orientado a procedimientos de cálculo y uso de representaciones simbólicas, con una explicitación menor de significados científicos, que se expresa en pequeñas variaciones en las categorías CL y EE.

En consecuencia, los mayores niveles de conceptualización alcanzados, se relacionan con un desarrollo de esquemas que se caracterizan por un grado explicitación parcial de invariantes físicos del concepto de campo, con predominio de aspectos procedimentales asociados a invariantes de objetos matemáticos del concepto de campo.

5.3. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO 2

Al término del Taller 1, un 40% de los estudiantes, alcanza los Niveles 3 y 4 de conceptualización, de transición y de aprehensión del concepto de campo, acorde con significados científicos del concepto, informados y analizados durante la enseñanza.

Los niveles alcanzados, se caracterizarían por el desarrollo de esquemas, que permiten el reconocimiento de situaciones y la clasificación de magnitudes mediante el uso del concepto de campo, acompañado de una explicitación de significados limitada, que no reflejan aún la organización y comprensión de significados alcanzada, mediante el uso de operaciones y representaciones simbólicas de los conceptos.

Las variaciones tan diferentes en el avance de los desempeños en los subgrupos de categorías $\{OP, RP, RS\}$ y $\{CL, EE\}$, pareciera ser un indicador del proceso del aprendizaje del concepto de campo. Este comenzaría por una acomodación de esquemas de transición, enmarcada por el uso de invariantes que se relacionan con procedimientos de cálculo y uso de representaciones simbólicas, con una explicitación limitada de significados científicos que se manifiesta en bajas variaciones de los desempeños en las categorías CL y EE. Estarían reflejando una asimilación parcial del concepto.

Otro aspecto importante de destacar, es el mejor desempeño en el uso de representaciones simbólicas pictóricas tipo imagen con respecto al de representaciones analíticas de tipo ecuaciones en actividades de clasificación. La misma tendencia, se observa en actividades de representación de ejemplares de campo escalar y vectorial, donde el desempeño también es mayor cuando se recurre al uso de representaciones tipo imagen.

Respecto al uso de representaciones lingüísticas (EE), las expresiones utilizadas para explicar representaciones simbólicas del concepto de campo presentan, en algunos casos, desempeños superiores a los de expresiones usadas para justificar clasificaciones y explicar situaciones (Tabla 5.9). Probablemente este hecho, indique una baja disponibilidad de instrumentos semióticos de representación simbólica para dar significado a sus acciones en las situaciones (Vergnaud, 1998).

Las principales implicaciones que surgen de los resultados de este estudio, apuntan a la definición y consolidación de una metodología, para investigar y caracterizar avances en el proceso de conceptualización del campo conceptual del concepto de campo, en un contexto de enseñanza, definido por los niveles de conocimiento previo, y los objetivos del curso y del currículum.

Las implicaciones de este estudio apuntan a la realización de un nuevo estudio, que aporte conocimiento sobre el seguimiento del proceso de adquisición, dominio y progresividad del aprendizaje significativo del campo conceptual del concepto de campo.

Además, de identificar criterios a tener en cuenta en el diseño de propuestas de enseñanza de este concepto fundamental para el aprendizaje y enseñanza de la Física.

CAPÍTULO 6

ESTUDIO 3:

AVANCES EN EL DOMINIO DEL CAMPO CONCEPTUAL EN UN PERIODO DE ENSEÑANZA

El presente estudio, corresponde a la segunda parte de la fase intermedia, de la investigación diseñada para alcanzar los objetivos de la tesis. El propósito principal fue usar la *Teoría de los campos conceptuales*, para explorar en una segunda oportunidad, avances en el proceso de conceptualización del campo conceptual del concepto de campo, luego de un periodo de enseñanza/aprendizaje del curso de “*Electricidad y Magnetismo*”, una vez realizada la Primera Prueba.

De acuerdo con las hipótesis que orientan y guían la investigación, la realización de este estudio, supuso volver a presentar información a los participantes acerca de significados del concepto de campo, específicamente del campo eléctrico. Después, continuación, enfrentarlos nuevamente a situaciones y problemas, presentadas en diferentes formatos representacionales. Tanto la información proporcionada, como los contenidos de Física incluidos en las situaciones, habían sido tratados y estudiados durante la enseñanza, abarcando dos unidades de contenidos del curso Unidad 1: Carga y fuerza eléctrica; Unidad 2: Campo eléctrico.

Del mismo modo que en el Estudio 2 (Taller 1), la realización de este estudio pretende volver a investigar dos aspectos fundamentales. Primero, detectar nuevos avances, o retrocesos, en la progresividad del aprendizaje, caracterizado por el estado de avance del proceso de desarrollo conceptual, que debería ponerse de manifiesto, a través de cambios observables en las representaciones, que construyen los estudiantes. En el caso específico de este estudio, se busca inferir cambios en los invariantes operatorios de los esquemas usados, para resolver y explicar las situaciones, mediante el uso, o no uso, del concepto de campo eléctrico. En segundo lugar, continuar con el estudio crítico de la metodología ideada, con el propósito de poder adoptarla, como un diseño metodológico adecuado, para investigar y caracterizar progresos en el proceso de conceptualización, a lo largo de un periodo de enseñanza/aprendizaje, orientado a alcanzar los objetivos del curso

y del curriculum.

En consecuencia, este estudio tuvo como objetivos:

- c) Explorar avances en el proceso de desarrollo conceptual, a partir del estudio de las relaciones entre la estructura del concepto de campo, y los diferentes grados de desarrollo conceptual que construyen los participantes durante un periodo del proceso de enseñanza/aprendizaje.
- d) Determinar niveles de conceptualización del concepto de campo después de un periodo de enseñanza/aprendizaje.

Para obtener datos que permitieran alcanzar los objetivos de este estudio, se diseñó un taller acerca del concepto de campo eléctrico, estructurado en dos partes.

Parte I. Lectura de un documento. Consistió en la presentación a los participantes de un documento, para su lectura y análisis, con significados del concepto de campo eléctrico. Y una discusión posterior de la lectura mediada por el profesor.

Parte II. Cuestionario de situaciones. Se enfrentó a los participantes a dos situaciones con tareas y problemas de lápiz y papel que elicitaban representaciones del concepto.

En síntesis, se buscaba diseñar y aplicar una metodología, basada en la teoría de campos conceptuales, para determinar y caracterizar avances en el proceso de conceptualización y adquisición de los estudiantes del campo conceptual del concepto de campo.

6.1. MÉTODO

6.1.1. PARTICIPANTES

La muestra estuvo conformada por 20 estudiantes (15 hombres y 5 mujeres), entre 18 y 23 años de edad, del curso de Electricidad y Magnetismo, de la carrera de Ingeniería de la Universidad de La Frontera. Estos mismos estudiantes habían contestado, al inicio del curso el Cuestionario 1, realizado el Taller 1 y rendido la Primera Prueba del curso.

6.1.2. MATERIALES

Para la realización de este taller se usaron dos tipos de materiales. Parte I. Un documento acerca del concepto de campo eléctrico (ver Anexo 3), el cual fue entregado a los participantes para su lectura y una posterior discusión mediada por el profesor. Parte II. Se elaboró un cuestionario con dos situaciones, con tareas y problemas en formato gráfico y escrito (ver Anexo 3), con contenidos físicos y matemáticos que eliciten representaciones del concepto de campo. En este cuestionario, se repitió una situación del Cuestionario 1, consistente en un problema acerca del uso de la definición operacional del campo eléctrico y su acción sobre una carga. Y se agregó una situación nueva, con problemas de fenómenos electrostáticos, que habitualmente se plantean al inicio de un curso de electromagnetismo, antes de introducir el concepto de campo eléctrico.

6.1.3. PROCEDIMIENTO

El taller se realizó en la sala de clases. Se aplicó al mismo grupo de estudiantes del curso de “*Electricidad y Magnetismo*”, que contestó el Cuestionario 1 del Estudio 1, que además realizó el Taller 1. La realización de este Taller 2, tuvo una duración de 60 minutos aproximadamente.

Al inicio del taller, cada estudiante leyó en forma individual un documento, acerca del concepto de campo eléctrico. Luego, se realizó una breve discusión con toda la clase y la participación del profesor, donde se respondieron y discutieron preguntas planteadas por los estudiantes. A continuación, en forma individual, los estudiantes dieron respuesta al cuestionario de situaciones.

6.1.4. ANÁLISIS DE DATOS

Los datos obtenidos se sometieron a un proceso de codificación de acuerdo con las cinco categorías de análisis definidas en los estudios anteriores. Esto es, Clasificación (CL); Expresión Escrita (EE); Representación (RP); Operación (OP) y Resolución (RS), cuya definición se presenta en la Tabla 2 del Estudio 1. El propósito de las categorías es caracterizar, las relaciones de conocimiento entre la realidad de las situaciones y las respuestas de los estudiantes.

La fiabilidad del cuestionario se realizó, con un análisis de los contenidos de las situaciones y los presupuestos teóricos que le dieron origen, sometiendo éste al juicio de un físico e investigador en educación en ciencias. El análisis de consistencia de los puntajes obtenidos, se realizó mediante el coeficiente α . La síntesis del análisis de fiabilidad de los puntajes se presenta en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1: Síntesis del análisis de fiabilidad

Puntaje Total	Media puntaje total	Desviación Típica	Número de categorías	Coeficiente α
16	6,35	3,11	16	0,89

Como una posibilidad, de eliminar alguna categoría que mejore el coeficiente α , se calcularon los coeficientes de correlación r , entre el puntaje de cada categoría y el puntaje total. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2: Coeficientes correlación r entre puntaje total y puntaje en cada categoría

Categoría	CL	EE	RP	OP	RS
Coeficiente de correlación r	0,847	0,921	0,832	0,731	0,904

Los valores de los coeficientes de correlación son $\geq 0,731$. Por lo tanto, se estima que el valor $\alpha = 0,89$ indica que los puntajes son estadísticamente confiables.

6.2. RESULTADOS

En el análisis e interpretación de los datos, se usó la misma metodología de los estudios anteriores. Las respuestas se analizaron cualitativamente y agruparon en 16 ítems, distribuidos en las cinco categorías: Clasificación (CL) 4 ítems; Expresión Escrita (EE) 4 ítems; Representación (RP) 2 ítems; Operación (OP) 1 ítem y Resolución (RS) 5 ítems. Se asignó a cada estudiante una puntuación de acuerdo a la concordancia de sus respuestas con los significados científicos de los conceptos medidos. Se otorgó una puntuación de 1,0 a las respuestas *totalmente correctas*; 0,5 a las *parcialmente correctas* y 0 a las *incorrectas*. En consecuencia, la puntuación máxima posible de obtener fue de 16. En la Tabla 6.3 se presenta la distribución de ítems, por situación y categorías de análisis.

Tabla 6.3: Distribución y descripción de ítems según situación y categorías

Situación	Descripción	CL	EE	RP	OP	RS	Puntos
1	Problema determinación y representación del campo eléctrico en un punto	CL1	EE1	RP1	OP1	RS1	5
	Problema determinación y representación de la acción del campo sobre una carga			RP2		RS2	2
2	Problema repulsión entre dos cuerpos cargados (usa concepto campo o acción distancia)	CL2	EE2			RS3	3
	Problema atracción entre dos cuerpos cargados (usa concepto campo o acción distancia)	CL3	EE3			RS4	3
	Problema comprensión fuerza nula sobre una carga (usa concepto campo o acción distancia)	CL4	EE4			RS5	3
Total		4	4	2	1	5	16

6.2.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DESEMPEÑO SEGÚN CATEGORÍAS

6.2.1.1. CLASIFICACIÓN

De acuerdo con la definición de esta categoría, estos resultados describen el uso y presencia del concepto de campo eléctrico, en acuerdo con significados científicos, en la clasificación de los problemas planteados en las situaciones. En la Tabla 6.4, se representan los resultados del desempeño promedio de los estudiantes por ítem y situación en esta categoría.

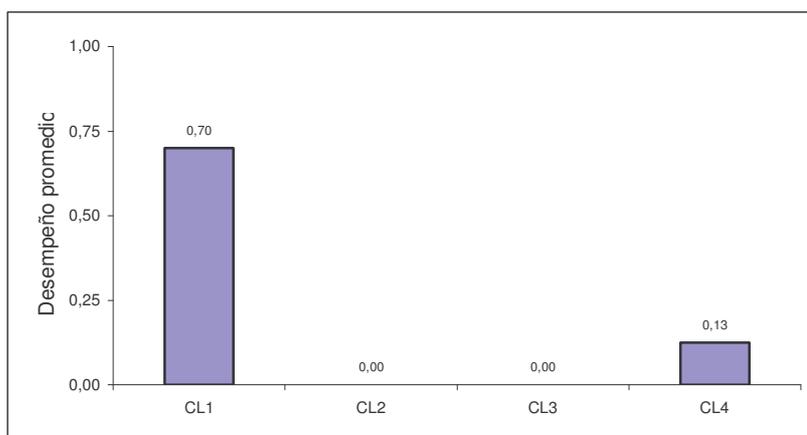
Tabla 6.4: Desempeños promedio en la categoría clasificación

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
CL1	Problema existencia campo eléctrico (se observó uso concepto campo eléctrico)	0,70	1
CL2	Problema repulsión entre cuerpos cargados (se observó uso concepto acción a distancia)	0,00	2
CL3	Problema atracción entre cuerpos cargados (se observó uso concepto acción a distancia)	0,00	
CL4	Problema comprensión fuerza nula sobre una carga (se observó uso concepto campo eléctrico)	0,13	

En la Figura 6.1, se observa que el ítem de clasificación de la Situación 1, que mide el uso de significados científicos del concepto de campo eléctrico, en la clasificación y resolución de un problema tiene el mayor desempeño (0,70) en esta categoría. Es importante mencionar, que esta situación fue incluida en el Cuestionario 1 del Estudio 1. Sin embargo, en tal estudio, esta situación no fue analizada desde la categoría de CL, debido a que la mayoría de los participantes, respondió desconocer significados del concepto de campo eléctrico.

En la Situación 2, los desempeños de clasificación de uso del concepto de campo eléctrico en los problemas de repulsión o atracción entre cuerpos cargados son nulos, debido a que ningún estudiante usó el concepto de campo eléctrico al enfrentar estos problemas. Los estudiantes que resolvieron estos problemas lo hicieron desde el concepto de acción a distancia. Sólo en el problema de la fuerza nula sobre una carga se observa un desempeño mínimo (0,13) que refleja un uso del concepto de campo eléctrico.

Figura 6.1: Desempeño promedio en la categoría clasificación



En forma preliminar, estos resultados parecen sugerir, que si bien los estudiantes conocen significados del concepto de campo eléctrico adquiridos mediante la enseñanza, la mayoría le dan sentido a las situaciones planteadas, desde esquemas asociados a la representación del concepto de interacción a distancia, sin lograr acomodarlos a esquemas más generales que representen el concepto de campo.

6.2.1.2. EXPRESIÓN ESCRITA

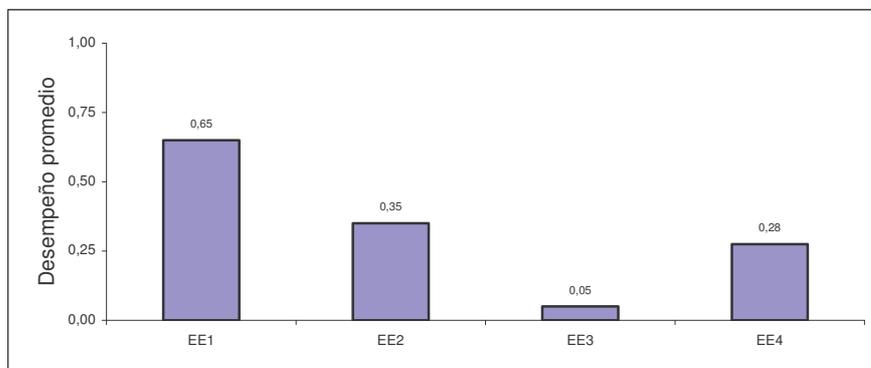
Los resultados de desempeño en esta categoría, representan la presencia de expresiones escritas, con predicados correctos de los conceptos de campo eléctrico y acción a distancia, usados por los estudiantes para explicar clasificaciones realizadas. Los desempeños promedio por ítem y situación para esta categoría se presentan en la Tabla 6.5 y Figura 6.2.

Tabla 6.5: Desempeño promedio en la categoría expresión escrita

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
EE1	Argumentos sobre existencia campo eléctrico en un punto (se observó uso concepto campo eléctrico)	0,65	1
EE2	Explicación de la repulsión entre cuerpos (se observó uso concepto acción a distancia)	0,35	2
EE3	Explicación atracción entre cuerpos (se observó uso concepto acción a distancia)	0,05	
EE4	Explicación fuerza nula sobre cuerpo (se observó uso concepto campo eléctrico)	0,28	

En general, estos resultados muestran un uso de expresiones con significados correctos bajo. En la Figura 6.2, se observan valores de desempeños $\leq 0,65$, en todos los ítems. Sin embargo, se destaca, el mayor valor relativo de los desempeños en expresiones escritas de los ítems que se refieren al uso del concepto de campo, en los problemas de existencia de campo eléctrico, y de comprensión de fuerza nula sobre una carga (0,65 y 0,28). Por otra parte, llama la atención, que el desempeño en los ítems que se refieren al uso del concepto de interacción a distancia sean mucho menores (0,35 y 0,05) que los desempeños del concepto de campo eléctrico.

Figura 6.2: Desempeño promedio en la categoría expresión escrita



Los desempeños en esta categoría, podrían interpretarse como un indicador de dificultades, que aumentan en situaciones que demandan una conceptualización mayor (Vergnaud, 1998). En el caso particular de las situaciones de este estudio, pareciera que las dificultades tienen su origen en el contexto (fenómenos electrostáticos) y la acción de los estudiantes frente a la enseñanza. Pareciera que ante la complejidad de una situación la adaptación de los estudiantes ocurre una asimilación en esquemas preexistentes, más bien, asociados al concepto de acción a distancia sin alcanzar a acomodarlos y explicitarlos al concepto de campo.

6.2.1.3. REPRESENTACIÓN

Los resultados de esta categoría, describen el desempeño en el uso de representaciones simbólicas y pictóricas asociadas al concepto de campo eléctrico, en la Situación 1. Estos resultados se presentan en la Tabla 6.6 y Figura 6.3.

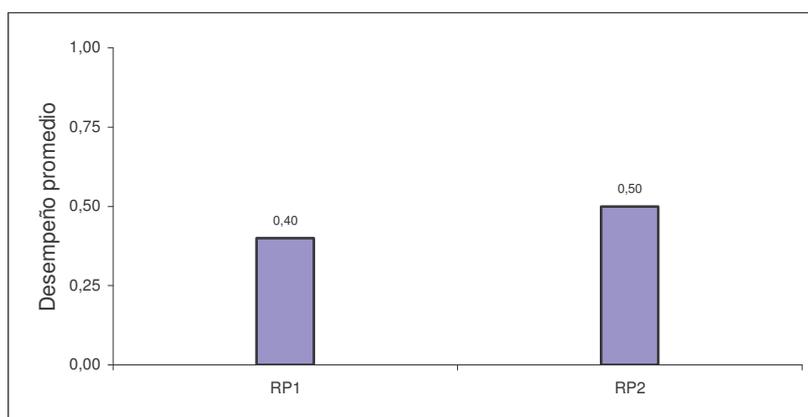
Tabla 6.6: Desempeño promedio en la categoría representación

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
RP1	Representación del campo eléctrico en un punto	0,40	1
RP2	Representación de la acción del campo sobre una carga	0,50	

En la Figura 6.3, se observan los desempeños con valores intermedios (0,40 y 0,50) para las representaciones de los vectores de campo y fuerza eléctricas, en un mismo punto del espacio respectivamente.

En general, estos valores intermedios, menores al desempeño en la categoría de resolución, podrían interpretarse desde la teoría de Vergnaud (1998), como dificultades de explicitación mediante el uso de representaciones simbólicas y lenguaje de los significados del concepto de campo eléctrico.

Figura 6.3: Desempeño en la categoría representación



6.2.1.4. OPERACIÓN

El valor de desempeño en esta categoría mostrado en la Tabla 6.7, describe el desempeño del cálculo del campo eléctrico en un punto usando su definición operacional. Sin embargo, llama la atención que este valor sea bajo (0,40), debido a que el contenido de este ítem, fue estudiado y discutido ampliamente a lo largo de la enseñanza.

Tabla 6.7: Desempeño promedio en la categoría operación

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
OPI	Cálculo del campo eléctrico en un punto	0,40	1

Este resultado puede interpretarse, como evidencia de dificultades, identificadas también en el Estudio 1, para calcular el campo eléctrico en un punto mediante su definición operacional, poniendo de manifiesto una incomprensión de significados de la definición del concepto.

6.2.1.5. RESOLUCIÓN

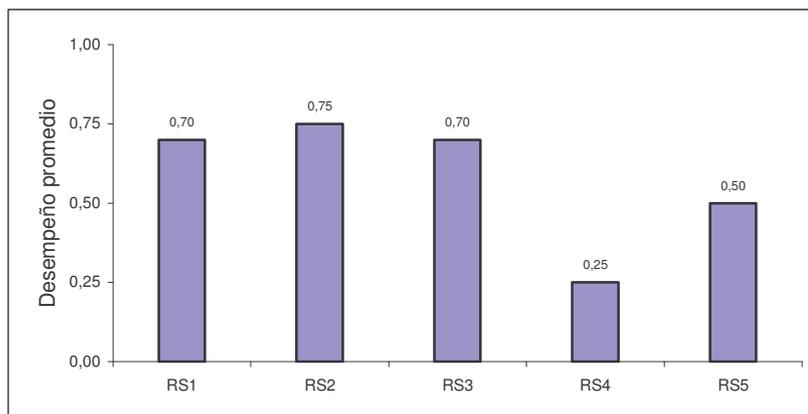
Estos desempeños describen la disponibilidad conceptual de los estudiantes, en términos de propiedades, relaciones y transformaciones correctas de los conceptos de, campo eléctrico y acción distancia en la resolución de un problema. Estos resultados se presentan en la Tabla 6.8, y en la Figura 6.4.

Tabla 6.8: Desempeño promedio en la categoría resolución

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
RS1	Problema determinación del campo eléctrico en un punto (se observó uso concepto campo eléctrico)	0,70	1
RS2	Problema determinación de la acción del campo sobre una carga (se observó uso concepto campo eléctrico)	0,75	
RS3	Problema repulsión entre cuerpos cargados (se observó uso concepto acción a distancia)	0,70	2
RS4	Problema atracción entre cuerpos (se observó uso concepto acción a distancia)	0,25	
RS5	Problema fuerza nula sobre una carga (se observó uso concepto campo)	0,50	

En esta categoría, se observa en la Figura 6.4, que los valores de desempeño más altos corresponden a los ítems de resolución de los problemas que se relacionan con la definición y uso del concepto de campo eléctrico (0,70 y 0,75) de la Situación 1, y el problema de repulsión entre cuerpos cargados (0,70) mediante el uso del concepto de acción a distancia (0,80) de la Situación 2. En cambio, se observa que cuando aumenta la complejidad de los problemas, como en los casos, del problema de la fuerza nula sobre una carga, y el problema de atracción entre cuerpos, los desempeños bajan notoriamente, valores de (0,50 y 0,25), respectivamente.

Figura 6.4: Desempeño en la categoría resolución



En general, estos resultados muestran una disponibilidad conceptual en los estudiantes, aún baja para enfrentar problemas que demandan una aplicación del concepto de campo, las cuales aumentan en la medida que crece la complejidad de los significados a usar en la resolución de un problema.

6.2.2. DESEMPEÑO EN LAS CATEGORÍAS SEGÚN CONCEPTOS

Con el propósito de averiguar si existen diferencias significativas entre los desempeños de los conceptos de campo eléctrico y acción a distancia, se agruparon éstos en dos grupos, como se muestra en la Tabla 6.9.

Tabla 6.9: Desempeño promedio en las categorías según conceptos

Categorías	CL	EE	RP	OP	RS
Conceptos					
	0,70	0,65	0,40	0,40	0,70
Campo eléctrico			0,50		0,75
	0,13	0,28			0,50
Acción a distancia	0,00	0,35			0,70
	0,00	0,05			0,25

Al observar la Tabla 6.9, se observan diferencias entre los desempeños de cada grupo. Con el propósito de averiguar si existen diferencias significativas entre estos grupos, se calcularon los desempeños globales por grupo en cada una de las categorías. Los resultados del cálculo de desempeños globales, según las medias del puntaje obtenido por los participantes, en los grupos de campo eléctrico y acción a distancia, sobre una escala de 0 a 1,00, se muestran en la Tabla 6.10.

Tabla 6.10: Medias, desviaciones del puntaje global y número de participantes

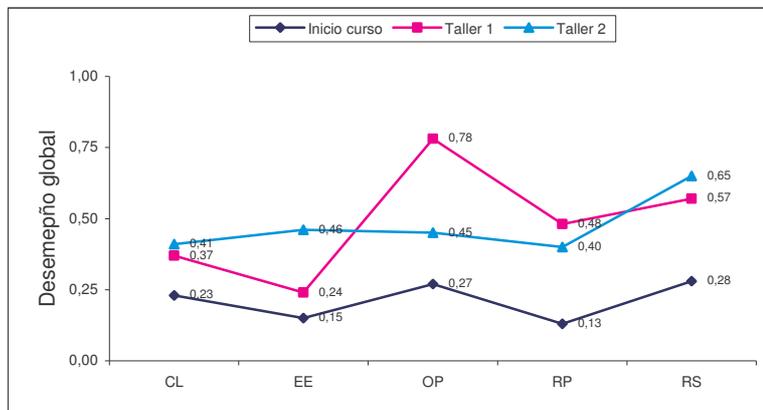
Categoría	Campo eléctrico		Acción a distancia		N
	Media	Desviación	Media	Desviación	
CL	0,41	0,32	0,00	0,00	20
EE	0,46	0,33	0,20	0,16	20
RP	0,45	0,39	-	-	20
OP	0,40	0,50	-	-	20
RS	0,65	0,30	0,48	0,38	20

Al analizar la Tabla 6.10, se observan diferencias en los valores de las medias y desviaciones. Al realizar las comparaciones entre las medias se obtienen los siguientes resultados: en CL ($t(19) = 5,819, p < ,000$); en EE ($t(19) = 3,280, p < ,0004$), y en RS ($t(19) = 1,426, p < ,17$). Por lo tanto, las diferencias entre medias en las categorías CL y EE, de los conceptos de campo eléctrico y acción a distancia son estadísticamente significativas. En cambio las diferencias en RS no son significativas.

Este resultado muestra, que no existen diferencias distinguibles de resolución, cuando los estudiantes usan los conceptos de campo eléctrico o acción a distancia. Sin embargo, los desempeños son significativamente distinguibles y mayores, en

categorización y explicitación escrita cuando usan el concepto de campo eléctrico. Es decir, pareciera que los estudiantes usan mejor el concepto de campo eléctrico.

Figura 6.5: Desempeños globales en el concepto de campo en Talleres 1 y 2 e inicio del curso



En consecuencia, en la Figura 6.5, se muestra una comparación entre los desempeños globales para el concepto de campo, en cada categoría de análisis, al inicio del curso y en los Talleres 1 y 2. Para el Taller 2, en la Figura 6.5, se observa una progresividad apreciable en el aprendizaje del campo conceptual del concepto de campo, que se expresa en el incremento del desempeño global en cada una de las categorías, con respecto a la línea base de desempeños al inicio del curso. Sin embargo, si se analizan los desempeños del Taller 2 con respecto del Taller 1, se observan incrementos positivos en las categorías de CL, EE y RS, e incrementos negativos en las categorías OP y RP.

Por otra parte, es importante destacar que los desempeños al inicio del curso, se distribuyen en una banda inferior de amplitud $\Delta_{IC} = 0,15$ con límites entre los valores 0,13 y 0,28 respectivamente. Los del Taller 1, en una banda superior de amplitud $\Delta_{Taller1} = 0,54$ con límites entre 0,24 y 0,78. En cambio, la distribución de desempeños del Taller 2, es en una banda de amplitud $\Delta_{Taller2} = 0,25$ entre los valores 0,40 y 0,65 respectivamente. Con el propósito de comprender mejor las variaciones entre los desempeños del Taller 2 y Taller 1, se procedió a ordenar estos desempeños, en cada una de las categorías por diferencias. Estos resultados se muestran en la Tabla 6.11.

Tabla 6.11: Desempeños en categorías Taller 2 y 1 ordenadas por diferencia

Categoría	Taller 2	Taller 1	Diferencia
EE	0,46	0,24	0,22
RS	0,65	0,57	0,08
CL	0,41	0,37	0,04
RP	0,40	0,48	-0,08
OP	0,45	0,78	-0,33

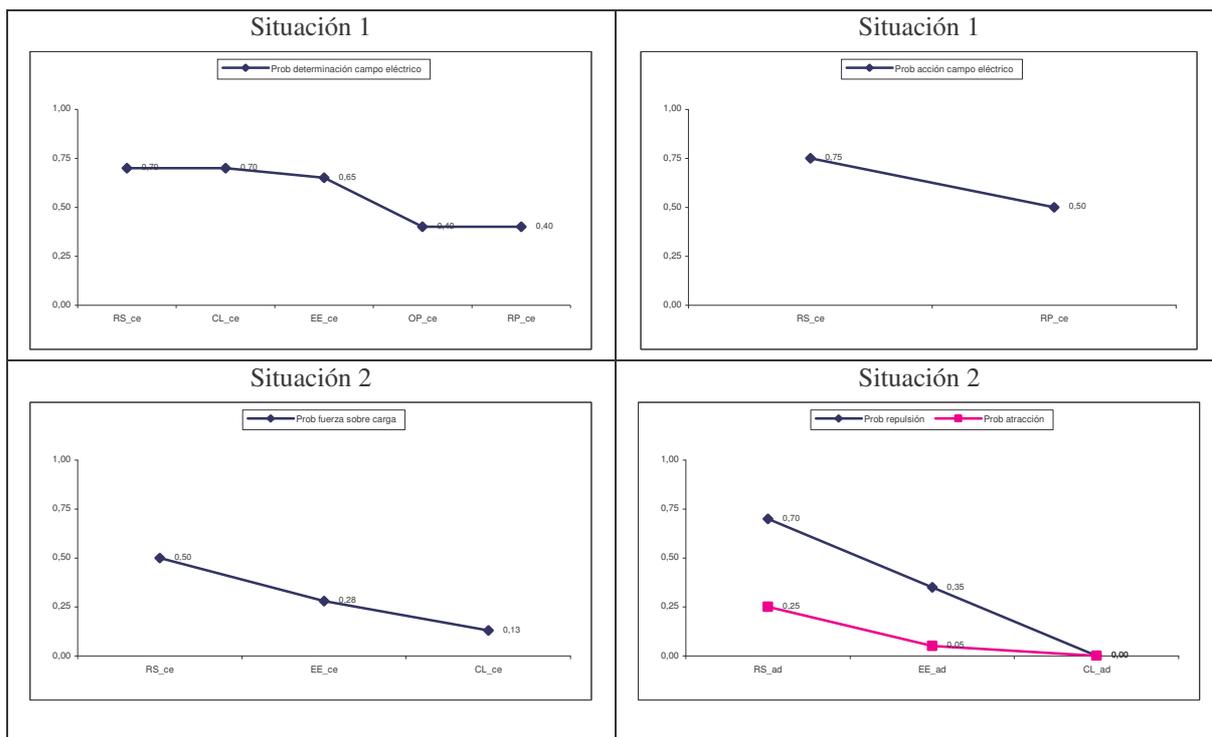
Para el Taller 2, se observa que la mayor diferencia positiva del desempeño, es en la categoría EE (0,22), que a su vez, fue la categoría que tuvo la menor diferencia (0,09) en el Taller 1, respecto del inicio del curso. Por otra parte, el mayor descenso del desempeño es en la categoría OP (-0,33), que, fue la categoría de mayor aumento (0,51) en el Taller 1. Además, llama también la atención, que el subgrupo $\{EE, RS, CL\}$ sea el conjunto de categorías que tiene el mayor aumento del desempeño relativo, mientras que en el Taller 1, este mismo subgrupo de categorías, tuvo el menor aumento del desempeño.

Probablemente todas estas variaciones observadas, ocurridas transcurrido el periodo de un mes del proceso de enseñanza/aprendizaje del curso, podrían servir de información para caracterizar la evolución del proceso de conceptualización y aprendizaje del concepto de campo. En forma preliminar, este comportamiento, podría estar indicando una acomodación de esquemas, con una explicitación mayor de significados científicos del concepto de campo.

6.2.3. DESEMPEÑO EN LAS CATEGORÍAS SEGÚN CONTENIDO DE LAS SITUACIONES

De igual manera a lo realizado en el Taller 1 y Estudio 1, se estimó conveniente, analizar e interpretar el desempeño en cada Situación, en función de los contenidos incluidos en cada una de ellas. Así, para cada situación, se agruparon los desempeños en series, que tienen por elementos, los desempeños de los ítems que se refieren a un contenido o concepto específico. En la Figura 6.6, se presentan estas series de desempeño para cada Situación, con sus valores ordenados de mayor a menor.

Figura 6.6: Desempeño promedio según contenidos de cada situación



En general, se observa en las series de la Figura 6.6, algunas regularidades y concordancias que se comentan a continuación:

La totalidad de las series (Situaciones 1 y 2) incluyen el ítem RS, con el mayor valor de desempeño, tanto en el uso del concepto de campo eléctrico (ce), como en el uso del concepto de acción a distancia (ad).

En las series con ítems de las categorías resolución y representación (Situación 1), los desempeños se ordenan de la forma $RS > RP$. Este comportamiento, estaría mostrando dificultades de los estudiantes, para explicitar, por medio del uso de representaciones simbólicas del concepto de campo eléctrico, conocimientos-en-acción usados en la solución de un problema. Esta dificultad se observa con mayor nitidez, en la serie del problema de determinación y representación del campo eléctrico, que además incluye la categoría EE, el orden de los elementos de la serie es $RS > CL > EE > OP = RP$.

En el caso de la serie de la Situación 2, correspondiente a la resolución de un problema mediante el uso del concepto de campo eléctrico, se observa que los desempeños se ordenan de la forma $RS_{ce} > EE_{ce} > CL_{ce}$. Los menores desempeños de la serie son EE y CL, lo cual muestra, una explicitación limitada de significados científicos que se manifiesta en bajas variaciones de los desempeños en las categorías CL y EE, que estaría

reflejando una asimilación parcial del concepto. Por otra parte, llama la atención, que este mismo comportamiento se observa en el caso de la resolución de problemas mediante el uso del concepto de acción a distancia, donde los términos de las series se ordenan siguiendo el orden $RS_{ad} > EE_{ad} > CL_{ad}$. Sin embargo, los desempeños EE y CL apreciablemente mayores cuando se usa el concepto de campo eléctrico. Es decir, pareciera que los estudiantes usan mejor el concepto de campo eléctrico.

6.2.4. NIVELES DE CONCEPTUALIZACIÓN DEL CONCEPTO DE CAMPO

Para averiguar avances en el proceso de conceptualización, se analizó, de igual manera que en los estudios anteriores, el desempeño de cada estudiante en el Taller 2, asignando el desempeño obtenido, a uno de los cinco niveles de conceptualización, definidos en el Estudio 1 (ver Tabla 12). La asignación a un nivel de conceptualización, se determinó a partir del puntaje de desempeño ponderado (*PDP*) obtenido en el conjunto de 10 ítems del Taller 2, que se refieren exclusivamente al concepto de campo, excluyendo los ítems del concepto de acción a distancia. En la determinación del *PDP* se mantuvieron las ponderaciones usadas para cada categoría tanto en el Estudio 1, como en el Taller 1. Esto es, *Clasificación* 10%, *Expresión escrita* 15%, *Representación*, *Operación y Resolución* 25%. Así, de acuerdo con el número de ítems y ponderaciones definidas, el puntaje de desempeño ponderado, se determinó por la expresión:

$$PDP = \frac{1}{2}CL + \frac{1,5}{2}EE + \frac{2,5}{2}RP + \frac{2,5}{1}OP + \frac{2,5}{3}RS$$

donde, CL, EE, RP, OP y RS es el desempeño en cada categoría. Luego, los puntajes *PDP* se transformaron a una escala de conceptualización de 0 a 5 puntos, con rangos de variación en una unidad para cada nivel de conceptualización. Los resultados obtenidos para el grado de conceptualización, según las medias del puntaje de conceptualización obtenido por los estudiantes participantes, para el Taller 2, como en el Taller 1 e inicio del curso, sobre una escala de 0 a 5, se muestran en la Tabla 6.12.

Tabla 6.12: Medias, desviaciones del puntaje de conceptualización y número de participantes al inicio del curso y Talleres 1 y 2

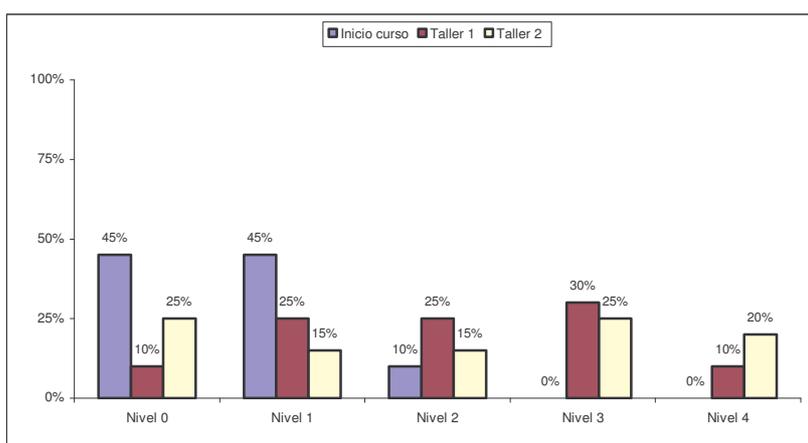
Grado conceptualización	Medias	Desviación	Participantes
Inicio curso	1,01	0,58	20
Taller 1	2,65	1,22	18
Taller 2	2,43	1,61	20

Al analizar la Tabla 6.12, se observa que las medias del puntaje de conceptualización son diferentes, y lo mismo sus desviaciones. La media del Taller 2, es menor que la media del Taller 1, y mayor que la media al inicio del curso. Por este motivo se realizó un análisis de comparación entre pares de medias. Los resultados de este análisis fueron los siguientes. Para las medias del Taller 2 y Taller 1, se tiene $(t(17) = -0,337, p < ,740)$, con $-0,22$ la diferencia entre las medias. En cambio, para las medias del Taller 2 e inicio del curso, se tiene $(t(19) = 3,657, p < ,002)$, siendo $1,42$ la diferencia entre medias. Por lo tanto, la diferencia entre medias del Taller 2 e inicio de curso, es estadísticamente significativa. En cambio, la diferencia entre el Taller 2 y Taller 1 no es significativa.

Estos resultados muestran, que las diferencias en el grado de conceptualización de los estudiantes, son claramente distinguibles entre el Taller 2 e inicio del curso, y no distinguibles entre el Taller 2 y Taller 1.

En la Figura 6.7, se muestra la distribución del número de estudiantes en cada nivel de conceptualización en el Taller 1 y al inicio del curso.

Figura 6.7: Distribución estudiantes según niveles de conceptualización



Se aprecia que para el Taller 2, el 45% de los estudiantes alcanza los Niveles 3 y 4 de conceptualización, correspondiente a los niveles superiores de la escala, los cuales no fueron alcanzados al inicio del curso.

Esto significa, que después de la realización del Taller 2, el 20 % de los estudiantes alcanza un nivel de aprehensión de los significados del concepto de campo (en particular campo eléctrico) tratados durante la enseñanza y la realización del taller. Un 25% alcanza una conceptualización de transición, que equivale a un reconocimiento y significación parcial del concepto, con aplicación a situaciones. Un 15 % alcanza el Nivel 2 de reconocimiento de un campo, con una explicitación parcial de significados científicos. Además, un 35% de los estudiantes, se ubica en los Niveles 1 y 0 más bajos de conceptualización.

Además, si se compara la distribución por niveles del Taller 2, con la distribución al inicio del curso se aprecia avance notable, de un 50% de los estudiantes que abandonan los niveles más bajos de conceptualización. Este resultado es coherente, con el progreso del desempeño global en todas las categorías mostrado en la Figura 6.5, y los resultados de diferencia significativa del análisis de comparación entre las medias del grado de conceptualización del Taller 2 e inicio del curso.

Por otra parte, si se comparan la distribución por niveles del Taller 2, respecto de la distribución del Taller 1, se observa que la distribución de los estudiantes en los Talleres 2 y 1, son del mismo orden de magnitud en los Niveles 3 y 4. La distribución del Taller 2, supera levemente a la distribución del Taller 1. Un comportamiento similar, se observa al comparar las distribuciones en los Niveles 0 y 1. De acuerdo con el resultado del análisis de comparación entre las medias del grado de conceptualización (Tabla 6.12), estas diferencias no serían estadísticamente significativas. Sin embargo, si se tienen presentes los resultados del análisis de las diferencias entre los desempeños globales por categoría (Tabla 6.11), que muestran fluctuaciones positivas en el subgrupo de categorías $\{EE, RS, CL\}$, se podrían identificar algunas diferencias cualitativas, para comprender mejor la progresividad del proceso de conceptualización del campo conceptual del concepto de campo.

6.3. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO 3

Al término del Taller 2, un 45% de los estudiantes, alcanza los Niveles 3 y 4 de conceptualización, de transición y de aprehensión del concepto de campo, acorde con significados científicos del concepto informados y analizados durante la enseñanza.

Estos niveles, se caracterizarían por el desarrollo de esquemas, que permiten el reconocimiento de situaciones y la resolución de problemas mediante el uso del concepto de campo, acompañado de una explicitación aún insuficiente de significados, que no reflejan una organización y comprensión completa de los significados de operaciones y representaciones simbólicas de los conceptos.

Las mayores variaciones, en el avance de los desempeños por categorías del Taller 2, en relación al Taller 1, son en el subgrupo de categorías $\{EE, RS, CL\}$. En cambio, las mayores variaciones del Taller 1, con respecto al inicio del curso, son en el subgrupo $\{OP, RP, RS\}$ (ver conclusión Taller 1).

Estos cambios parecieran ser un indicador de la evolución del proceso de conceptualización y aprendizaje del concepto de campo, desde el inicio del curso hasta el Taller 2, transcurrido un periodo de enseñanza/aprendizaje. El proceso de conceptualización, comenzaría por una acomodación de esquemas de transición, caracterizado por el uso de invariantes que se relacionan con procedimientos de cálculo y uso de representaciones simbólicas, con una explicitación limitada de significados científicos, expresado por bajas variaciones de los desempeños en las categorías CL y EE. Posteriormente, el proceso de conceptualización evolucionaría hacia una mayor explicitación de significados, tendiente a equilibrar el desempeño a valores similares en todas las categorías de análisis.

El desempeño de la categoría de resolución, es el de mayor avance observado, a lo largo del proceso de enseñanza/aprendizaje, y el de mayor puntuación en todas las series de desempeño de las situaciones del Taller 2 (Fig.6.6). Este comportamiento, estaría mostrando dificultades de los estudiantes, de explicitación por medio del uso de representaciones simbólicas del concepto de campo eléctrico, conocimientos-en-acción que usan en la solución de un problema.

Otro aspecto importante de destacar, es el mejor uso del concepto de campo eléctrico respecto del concepto de acción a distancia, que se manifiesta en mejores

desempeños de las categorías EE y CL, apreciablemente mayores cuando se usa el concepto de campo eléctrico.

Las principales implicaciones que surgen de los resultados de este estudio, apuntan a la consolidación de una metodología, para investigar y caracterizar avances en el proceso de conceptualización del campo conceptual del concepto de campo, en el contexto del proceso de enseñanza/aprendizaje, definido por los niveles de conocimiento previo, y los objetivos del curso y del curriculum.

Las implicaciones de este estudio apuntan a la realización de un nuevo estudio, que aporte conocimiento sobre el proceso de adquisición, dominio y progresividad del aprendizaje significativo del campo conceptual del concepto de campo. Además, de identificar criterios para el diseño de propuestas de enseñanza de este concepto fundamental de la física.

CAPÍTULO 7:

ESTUDIO 4:

DOMINIO DEL CAMPO CONCEPTUAL

El presente estudio corresponde a la última fase, del desarrollo de la investigación diseñada para alcanzar los objetivos generales y específicos de la tesis, planteados en el Capítulo I. El propósito fue usar la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, para examinar el conocimiento y niveles de conceptualización del concepto de campo, alcanzados por los estudiantes participantes de la investigación, al término del curso de “Electricidad y Magnetismo”.

De acuerdo con las hipótesis que orientan y guían la investigación, la realización de este estudio, supuso enfrentar nuevamente a los participantes, como al inicio del curso, a situaciones y problemas, presentadas en diferentes formatos representacionales (imágenes, gráficas, textos), para así investigar dos aspectos fundamentales. En primer lugar, derivar la progresividad del aprendizaje, caracterizado por el desarrollo conceptual, que se debería poner de manifiesto a través de los cambios en las representaciones del concepto de campo, que adquieren y construyen los estudiantes (Caballero, 2004; Moreira, 2000). Específicamente, los invariantes operatorios de los esquemas usados, para comprender y explicar las situaciones y las representaciones simbólicas que les ayudan a una conceptualización científica de los significados de los conceptos pertenecientes al campo conceptual del concepto de campo (Moreira, 2002; Greca y Moreira, 2002).

En segundo lugar, evaluar la factibilidad de usar como referencia los resultados obtenidos en el primer punto, para validar y consolidar la metodología ideada en la investigación de esta tesis, como un diseño metodológico adecuado para investigar y caracterizar los vínculos entre la estructura del conocimiento del campo conceptual del concepto de campo y la estructura conceptual construida por los estudiantes. Todo lo anterior, en un contexto de enseñanza delimitado por el nivel de conocimiento previo y los objetivos del curso y del currículum. Por este motivo los objetivos propuestos para este estudio fueron los siguientes:

- a) Determinar los niveles de conceptualización adquiridos en el campo conceptual de concepto de campo en Física, y

- b) Establecer los cambios y progresividad de las relaciones entre la estructura de este concepto científico y el nivel de desarrollo conceptual alcanzado de los participantes.

En resumen, se buscaba validar y consolidar una metodología basada en la teoría de campos conceptuales, para determinar y caracterizar el conocimiento alcanzado por los estudiantes, por la gran influencia que tiene en la evaluación y progresividad del aprendizaje significativo de conceptos científicos.

7.1. MÉTODO

7.1.1. PARTICIPANTES

La muestra estuvo conformada por 20 estudiantes (15 hombres y 5 mujeres) entre 18 y 23 años de edad, de un curso de Electricidad y Magnetismo de la carrera de Ingeniería de la Universidad de La Frontera.

7.1.2. INSTRUMENTO

Con el propósito de obtener datos, que permitieran analizar y evaluar la progresividad del aprendizaje del concepto de campo después de un ciclo de enseñanza, se procedió a la elaboración de un instrumento ad-hoc para este estudio (Cuestionario 2). Se utilizó como referencia el Cuestionario 1 del Estudio 1. Este instrumento consta de 8 situaciones con tareas y problemas en formato gráfico y escrito (Ver Anexo 4) que elicitaban representaciones del concepto de campo. En la elaboración de las situaciones, se consultaron textos de Física que tratan contenidos del curso (Benson, 1995; Serway y Beichner, 2000; Tipler, 2001). Los contenidos de las situaciones y representaciones se presentan resumidos en la Tabla 7.1.

7.1.3. PROCEDIMIENTO

El Cuestionario 2 se administró colectivamente en una sala de clases, al término del curso de “*Electricidad y Magnetismo*”, al mismo grupo de 20 estudiantes de las carreras

de Ingeniería de la Universidad de La Frontera, Chile, que contestó el Cuestionario 1 del Estudio 1. La aplicación tuvo una duración de 60 minutos aproximadamente.

Tabla 7.1: Contenido de las situaciones y representaciones simbólicas y pictóricas

Contenido de las situaciones		Contenido de las representaciones simbólicas y pictóricas		
Conceptos matemáticos	Conceptos físicos	Expresiones matemáticas, lingüísticas y gráficas	Operaciones y leyes Físicas	
Escalar	Temperatura, energía, presión, carga, flujo, potencial	Número \mathfrak{R}	Representación numérica \mathfrak{R}	Suma y resta Producto
Vector	Fuerza, velocidad, campos eléctrico, magnético, momento dipolar eléctrico y magnético	Módulo \mathfrak{R} Dirección y sentido	Geométrica (flecha) Analítica (componentes)	Producto escalar Producto vectorial Ley Coulomb, Principio superposición
Campo escalar	Campo temperaturas, densidad de carga, densidad de energía, potencial	$\phi = \phi(\vec{r}, t)$	Superficies Curvas de nivel	Diferencial y gradiente Trabajo y energía Campo y potencial
Campo vectorial	Campo eléctrico y magnético, velocidad en fluido, densidad de corriente	$\vec{A}(\vec{r}, t)$	Componentes Diagramas de flechas Líneas de campo	Flujo y circulación, Ley de Gauss Ley de Ampere Ley de Faraday

7.1.4. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los datos obtenidos, fueron sometidos a un proceso de codificación y se agruparon de acuerdo a las cinco categorías de análisis definidas en el Estudio 1. Esto es, las categorías de: Clasificación (CL); Expresión Escrita (EE); Representación (RP); Operación (OP) y Resolución (RS), cuya definición y descripción se presenta en la Tabla 2 del Estudio 1. El propósito de estas categorías es caracterizar, las relaciones de conocimiento entre la realidad de las situaciones y las respuestas (acción operatoria) de los estudiantes.

La fiabilidad se realizó mediante un análisis de los contenidos de las situaciones y los presupuestos teóricos que le dieron origen, sometiendo el instrumento al juicio de un experto, físico e investigador en educación en ciencias. El análisis de consistencia de los puntajes obtenidos, se realizó mediante el coeficiente α . Una síntesis del análisis de fiabilidad de los puntajes se presenta en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2: Síntesis del análisis de fiabilidad del instrumento

Puntaje Total	Media puntaje total	Desviación Típica	Número de categorías	Coefficiente α
44	23,6	6,3	5	0,74

Como una posibilidad de eliminar alguna categoría para mejorar el coeficiente α se calcularon los coeficientes de correlación r de Pearson, entre el puntaje en cada categoría y el puntaje total. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3: Coeficientes correlación r entre puntaje total y puntaje en cada categoría

Categoría	CL	EE	RP	OP	RS
Coeficiente correlación r	0,851	0,652	0,822	0,584	0,670

Los valores de los coeficientes de correlación son todos positivos y mayores que 0,580. Luego, la eliminación de cualquier categoría genera una disminución del coeficiente alfa. Por lo tanto, se estima que el valor $\alpha = 0,74$ indica que los puntajes generados son estadísticamente confiables.

7.2. RESULTADOS

Las respuestas de los participantes se analizaron cualitativamente y agruparon en 44 ítems, distribuidos en cinco categorías: Clasificación (CL) 13 ítems; Expresión Escrita (EE) 12 ítems; Representación (RP) 9 ítems; Operación (OP) 4 ítems y Resolución 6 ítems (RS). Luego, se asignó a cada estudiante una puntuación de acuerdo a la concordancia de sus respuestas con los significados científicos de los conceptos medidos. Se otorgó una puntuación de 1,0 a las respuestas *totalmente correctas*; 0,5 a las *parcialmente correctas* y 0 a las *incorrectas*. En consecuencia, la puntuación máxima posible de obtener fue de 44. En la Tabla 7.4 se presenta la distribución de ítems por situación y categorías de análisis.

7.2.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DESEMPEÑO SEGÚN LAS CATEGORÍAS

A continuación, se presentan los resultados del desempeño obtenidos de los estudiantes en cada una de las categorías definidas para este estudio.

Tabla 7.4: Distribución y descripción de ítems según situación y categorías

Situación	Contenido	CL	EE	RP	OP	RS	Puntos
1	Clasificación y explicación de magnitudes físicas escalares	CL1	EE1				2
	Clasificación y explicación de magnitudes físicas vectoriales	CL2	EE2				2
	Explicación de significados del concepto de función		EE3				1
	Clasificación y explicación de magnitudes físicas como campo escalar	CL3	EE4				2
	Clasificación y explicación de magnitudes físicas como campo vectorial	CL4	EE5				2
2	Cálculo y representación del valor de un campo eléctrico en un punto			RP1	OP1		2
	Resolución problema de acción de un campo eléctrico sobre una carga			RP2		RS1	2
3	Problema de categorización de los residuos líquidos fábrica como ejemplar de modelo campo	CL5				RS2	2
4	Cálculo de un campo eléctrico				OP2		1
	Cálculo del flujo de un campo eléctrico				OP3		1
	Problema de aplicación ley Gauss	CL6	EE6			RS3	3
	Cálculo circulación de un campo eléctrico				OP4		1
5	Clasificación y explicación de una situación de inducción electromagnética	CL7	EE7				2
	Representación y explicación de la situación de inducción		EE8	RP3			2
	Problema de descripción y explicación inducción electromagnética		EE9			RS4	2
6	Clasificación y representación de una ecuación de diferencia potencial	CL8		RP4			2
	Clasificación y representación de una ecuación del potencial de una fuente infinitesimal	CL9		RP5			2
	Problema de representación y aplicación de ecuaciones para la diferencia potencial			RP6		RS5	2
7	Problema interacción magnética entre dos corrientes		EE10			RS6	2
	Representación fuerza de interacción magnética entre corrientes			RP7			1
8	Comprensión del campo eléctrico como campo vectorial	CL10		RP8			2
	Definición y explicación campo eléctrico	CL11	EE11				2
	Comprensión del campo magnético como campo vectorial	CL12		RP9			2
	Definición y explicación campo magnético	CL13	EE12				2
		13	12	9	4	6	44

7.2.1.1. CLASIFICACIÓN

De acuerdo con la definición de esta categoría, estos resultados describen el desempeño promedio de clasificación, en acuerdo con significados científicos del campo conceptual del concepto de campo. En la Tabla 7.5, se presenta la descripción de los

contenidos de Física de cada ítem y los valores del desempeño promedio de los estudiantes en cada uno de ellos.

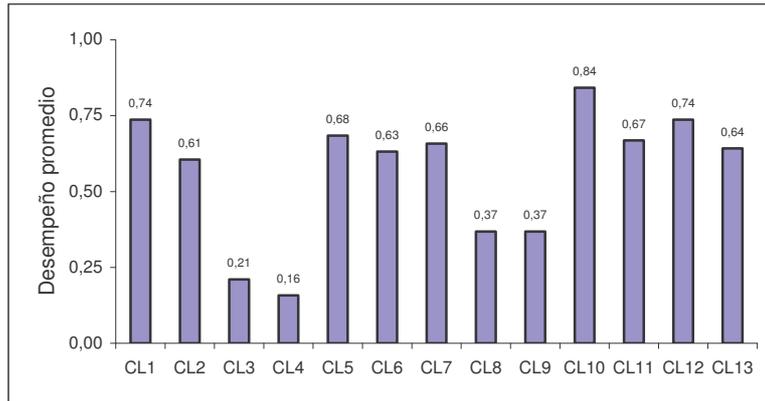
En la Figura 7.1, se observa que los mayores valores de desempeño promedio, corresponden a los ítems de clasificación de la Situación 8, para el campo eléctrico (0,84 y 0,67) y campo magnético (0,74 y 0,65) como campos vectoriales. Este resultado podría indicar una asimilación adecuada de significados del concepto de campo, después de un curso de electromagnetismo. Sin embargo, en la Situación 1, llama la atención la gran diferencia entre los valores del desempeño de clasificación de las magnitudes Físicas, clasificadas como escalar (0,74) y vector (0,61), con el desempeño de clasificación de magnitudes Físicas clasificadas como campos escalar (0,21) y vectorial (0,16).

Este resultado muestra dificultades de acomodación de esquemas de los estudiantes de los conceptos de escalar y vector, a situaciones que involucran además de estos conceptos, al concepto de campo. Es decir, la mayoría de los estudiantes clasifica magnitudes Físicas tales como, la presión hidrostática de un lago y la densidad de corriente en un conductor, ejemplares de los conceptos de escalar y vector, sin extenderlos al concepto de campo.

Tabla 7.5: Desempeño promedio en la categoría clasificación

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
CL1	Magnitudes escalares (energía cinética de una esfera que rueda por un plano inclinado como magnitud escalar)	0,74	1
CL2	Magnitudes vectoriales (velocidad de un protón en un ciclotrón; momento dipolar magnético de una espira con corriente)	0,61	1
CL3	Magnitudes como campos escalares (temperatura aire en un invernadero; presión hidrostática del agua de un lago; densidad de carga en la superficie de un conductor; densidad energía eléctrica entre las placas condensador esférico; potencial eléctrico de una esfera conductora cargada)	0,21	1
CL4	Magnitudes como campos vectoriales (densidad de corriente en un conductor metálico; momento dipolar eléctrico por unidad de volumen de las moléculas de agua contenidas en un vaso)	0,16	1
CL5	Modelo de campo para residuos líquidos de una fábrica	0,68	3
CL6	Problema flujo y ley de Gauss	0,63	4
CL7	Situación de inducción electromagnética	0,66	5
CL8	Ecuación para la diferencia potencial entre dos puntos	0,37	6
CL9	Ecuación para el potencial generado por una fuente infinitesimal	0,37	6
CL10	Campo eléctrico	0,84	8
CL11	Definición operacional campo eléctrico	0,67	8
CL12	Campo magnético	0,74	8
CL13	Definición operacional campo magnético	0,65	8

Fig. 7.1. Desempeño promedio en la categoría clasificación



En las Situaciones 3, 4 y 5, se observan desempeños de clasificación de valores intermedios $\geq 0,50$ (0,68; 0,63 y 0,66), que parecen mostrar una conceptualización aceptable de propiedades y significados del concepto de campo, para identificar y categorizar situaciones mediante un uso apropiado del concepto. En cambio en la Situación 6, se observan valores de desempeño bajo (0,37) para clasificar e interpretar representaciones simbólicas del concepto de campo, tales como, ecuaciones para el potencial y diferencia de potencial.

7.2.1.2. EXPRESIÓN ESCRITA

Los resultados de desempeño en esta categoría, representan la presencia, de expresiones escritas, con predicados científicos del concepto de campo usados por los estudiantes para explicar las clasificaciones realizadas, o para argumentar sus respuestas a las situaciones planteadas en el Cuestionario 2. La descripción de los ítems de esta categoría y el desempeño promedio, en cada uno de ellos, se presentan en la Tabla 7.6.

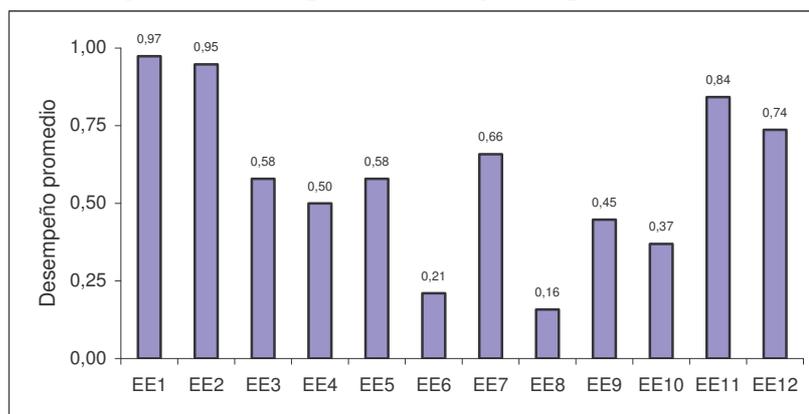
Si se observan en la Figura 7.2 los desempeños de esta categoría, se comprueba que el uso de expresiones escritas, con significados científicos del concepto de campo es $\geq 0,50$ en todos los ítems que explican clasificaciones. En efecto, en la Situación 1, las expresiones que explican atributos de los conceptos de escalar y vector, tienen un desempeño muy alto (0,97 y 0,95 respectivamente), muy superior al desempeño en expresiones que explican atributos de los conceptos de función (0,58), campo escalar (0,50) y campo vectorial (0,58).

Tabla 7.6: Desempeño promedio en la categoría expresión escrita

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
EE1	Explicación de atributos que definen una magnitud escalar	0,97	1
EE2	Explicación de atributos que definen una magnitud vectorial	0,95	1
EE3	Explicación de atributos que definen una función	0,58	1
EE4	Explicación de atributos que definen un campo escalar	0,50	1
EE5	Explicación de atributos que definen un campo vectorial	0,58	1
EE6	Argumentos que explican el uso de la ley de Gauss en un problema	0,21	4
EE7	Argumentos que explican un caso de inducción electromagnética	0,66	4
EE8	Argumentos que explican la representación usada para el caso de inducción electromagnética	0,16	5
EE9	Argumentos que explican y describen el fenómeno inducción electromagnética	0,45	5
EE10	Argumentos que explican la fuerza de interacción magnética entre dos espiras con corrientes	0,37	7
EE11	Explicación de atributos que definen el campo eléctrico	0,84	8
EE12	Explicación de atributos que definen el campo magnético	0,74	8

Lo mismo se observa en la Situación 8, donde el desempeño en expresiones que explican atributos de las definiciones de los conceptos de campo eléctrico y magnético, es también alto con valores 0,84 y 0,74 respectivamente. Además, llama la atención que tanto en las Situaciones 1 y 8, el desempeño en los ítems de la categoría expresión escrita sea mayor que el desempeño de la categoría clasificación. Este comportamiento es inverso al observado en el Estudio 1, al inicio de la enseñanza, donde los desempeños de clasificación son superiores a los de expresión escrita. Este resultado estaría mostrando una mejor explicitación de los significados de los atributos de estos conceptos a través del lenguaje escrito.

Figura 7.2: Desempeño en la categoría expresión escrita



Por otra parte, se observa que en las Situaciones 4, 5 y 7, los desempeños que corresponden a expresiones escritas de argumentos que explican las respuestas a las

situaciones, son notablemente menores que el desempeño en expresiones para explicar clasificaciones. Todos estos desempeños tienen valores $\leq 0,50$: argumentos que explican el uso de la ley de Gauss (0,21); los que explican las representaciones usadas para el caso de inducción electromagnética (0,16); los que describen y explican el fenómeno de inducción electromagnética (0,45), y los que explican la fuerza magnética en corrientes (0,37).

En general, este resultado podría interpretarse como un indicador de la permanencia de dificultades, en la estructura cognitiva de los estudiantes, para enfrentar situaciones que demandan un lenguaje y conceptualización mayor. Además, si se comparan estos resultados con los desempeños de la categoría expresión escrita del estudio inicial, se constata un aumento del desempeño, que podría estar mostrando una progresividad en el aprendizaje del campo conceptual del concepto de campo, con una mayor explicitación de sus significados científicos.

7.2.1.3. REPRESENTACIÓN

Los resultados del desempeño promedio de esta categoría, describen el uso de representaciones simbólicas (flechas, componentes, gráficos, ecuaciones) y pictóricas (líneas de fuerza, diagramas vectoriales) de los conceptos matemáticos y físicos del campo conceptual del concepto de campo. Los desempeños de esta categoría se presentan en la Tabla 7.7.

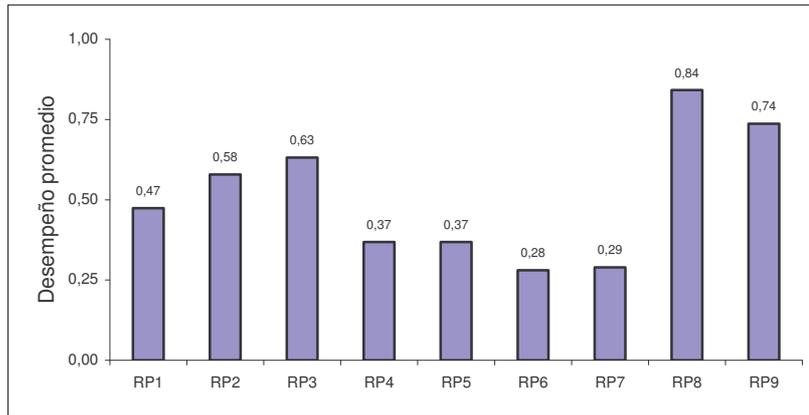
Tabla 7.7: Desempeño en la categoría representación

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
RP1	Representación de un campo eléctrico por flechas o componentes	0,47	2
RP2	Representación de una fuerza eléctrica por flechas o componentes	0,58	2
RP3	Representación de un caso de inducción electromagnética	0,63	5
RP4	Representación del significado atribuido a una ecuación para la diferencia de potencial	0,37	6
RP5	Representación del significado atribuido a una ecuación para el potencial de una carga infinitesimal	0,37	6
RP6	Representación del caso de una situación de aplicación de una ecuación para el cálculo de la diferencia de potencial	0,28	6
RP7	Representación de la fuerza de interacción magnética entre dos espiras con corrientes	0,29	7
RP8	Representación del campo eléctrico por ecuación y/o líneas de campo	0,84	8
RP9	Representación del campo del magnético por ecuación y/o líneas de campo	0,74	8

En la Figura 7.3, se observa que los ítems de mayor desempeño de representación corresponden a los campos eléctrico y magnético de la Situación 8. Así, la representación

por ecuaciones y líneas de fuerza del campo eléctrico es 0,84 y la del campo magnético 0,74. Sin embargo, en la Situación 2, en el contexto de un problema, el desempeño de representación del campo y la fuerza eléctrica baja notoriamente a valores de 0,47 y 0,58 respectivamente. Lo mismo en la Situación 7, el desempeño para la representación de la fuerza de interacción magnética, desciende a 0,29.

Figura 7.3: Desempeño en la categoría representación



Por otra parte, los desempeños de la Situación 6, muestran una baja comprensión y uso de representaciones simbólicas del concepto de campo. En efecto, la comprensión de representaciones del potencial eléctrico por medio de ecuaciones tiene un desempeño de 0,28 y 0,37. En cambio, en la Situación 5, se observa un desempeño aceptable de 0,63, para la elaboración de una representación pictórica que ilustre, la comprensión de una lectura sobre un caso de inducción electromagnética.

En general, los desempeños de esta categoría, confirman lo descrito por la teoría de campos conceptuales, que describe dificultades de los estudiantes para explicitar significados de conceptos científicos y matemáticos, mediante el uso de las representaciones simbólicas definidas por las disciplinas, en situaciones que implican mayores niveles de conceptualización. Es decir, el desempeño en el uso de representaciones simbólicas es mayor, en situaciones que solo requieren expresar atributos del concepto de campo. En cambio, cuando las situaciones se refieren a problemas, que demandan el uso e interpretación de representaciones del concepto de campo, el desempeño decae fuertemente.

7.2.1.4. OPERACIÓN

Los resultados de esta categoría describen procedimientos, uso de operaciones, propiedades y representaciones del campo conceptual del concepto de campo, al enfrentar situaciones y problemas. La descripción de los ítems de esta categoría y los desempeños de los estudiantes se presentan en la Tabla 7.8.

Tabla 7. 8: Desempeño en la categoría operación.

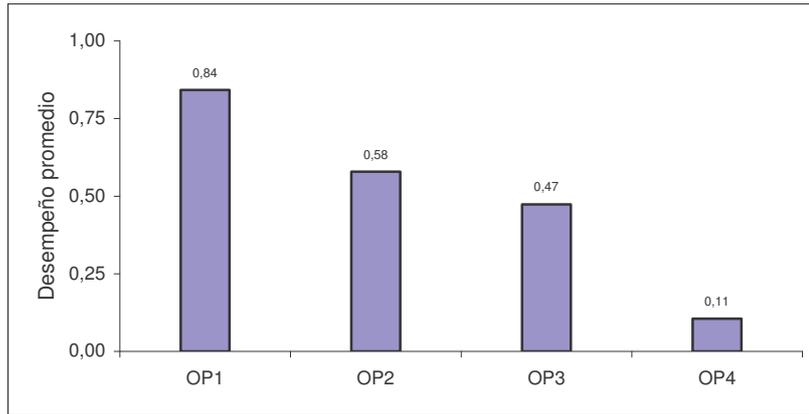
Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
OP1	Cálculo del campo eléctrico aplicando su definición operacional	0,84	2
OP2	Cálculo del campo eléctrico en una superficie	0,58	4
OP3	Cálculo del flujo eléctrico	0,47	4
OP4	Cálculo de la circulación	0,11	4

En la Figura 7.4 se observa que en la Situación 2, el desempeño para el cálculo del campo eléctrico en un punto mediante su definición operacional es (0,84). Este desempeño es mucho más alto, que el desempeño de representación (0,47) del vector de este mismo campo eléctrico (Fig. 7.3). Este resultado parece mostrar un predominio de los procedimientos de cálculo y dificultades, por parte de los estudiantes, para apropiarse de invariantes que reflejen una conceptualización más compleja del concepto de campo.

Por otra parte, se comprueba que después de un ciclo de enseñanza, el desempeño en operaciones ligadas al concepto de campo que aún se mantiene bajo. El mejor desempeño observado es 0,58 en el problema de la Situación 4, que consiste en calcular el campo eléctrico en una superficie a partir de su expresión analítica. No obstante, se observa un desempeño menor en la categoría de Representación de estos mismos vectores, su valor es de 0,30. Este resultado puede interpretarse, como una evidencia de la permanencia de dificultades para representar vectores de campo en puntos del espacio, poniendo de manifiesto incompreensión del concepto de campo eléctrico como una función vectorial.

El desempeño en el cálculo del flujo (0,47) y la circulación (0,11) aún es bajo, de igual modo al desempeño observado en el Estudio 1, anterior a la enseñanza de estos conceptos.

Figura 7.4: Desempeño en la categoría operación



Este resultado, ahora ya no puede ser explicado por un desconocimiento de estas operaciones, sino podría estar mostrando, la ausencia de invariantes del campo conceptual del concepto de campo para enfrentar situaciones que demandan una conceptualización superior (Vergnaud, 1998), que se manifiesta en una incomprensión de significados científicos, por falta aún de esquemas apropiados para enfrentar a estas situaciones.

7.2.1.5. RESOLUCIÓN

Los valores de desempeño en esta categoría describen la disponibilidad conceptual de los estudiantes, en términos de propiedades, relaciones y transformaciones científicamente correctas de conceptos del campo conceptual del concepto de campo, en la resolución de un problema. La descripción, contexto de los problemas planteados y su desempeño se presentan en la Tabla 7.9 y en la Figura 7.5.

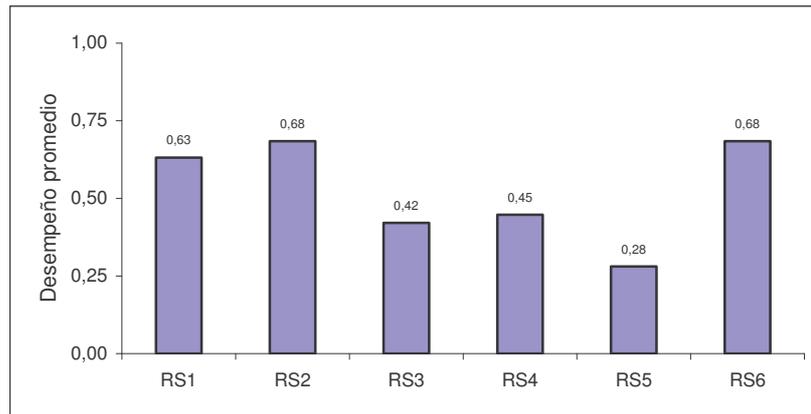
Tabla 7. 9: Desempeños en la categoría resolución

Ítem	Descripción	Desempeño promedio	Situación
RS1	Problema de acción de un campo eléctrico sobre una carga	0,63	2
RS2	Problema de categorización de un fluido en un modelo de campo	0,68	3
RS3	Problema de flujo y ley de Gauss	0,42	4
RS4	Problema de un caso de inducción electromagnética	0,45	5
RS5	Problema de aplicación de ecuaciones para el cálculo de una diferencia de potencial	0,28	6
RS6	Problema de interacción magnética entre corrientes	0,68	7

Los valores de desempeño más altos son: (0,63) en la Situación 2, para la resolución del problema de acción de un campo eléctrico sobre una carga;(0,68) en la

Situación 3, para la categorización de un fluidos como un modelo de campo; y (0,68) en la Situación 7, para la interacción magnética entre dos espiras con corriente. Estos valores son mayores o iguales que los desempeños observados en las categorías de Representación y Clasificación para estas mismas situaciones, lo cual puede interpretarse como un indicador de una conceptualización progresiva de los conceptos involucrados en estas situaciones.

Figura 7.5: Desempeño en la categoría resolución



En cambio, en los problemas de las Situaciones 4, 5 y 6, que indagan la conceptualización de operaciones y propiedades centrales (leyes) de la teoría del campo electromagnético, el desempeño es menor. Este comportamiento muestra una disponibilidad conceptual restringida en los estudiantes, para enfrentar problemas que demandan un uso y aplicación de significados de la teoría electromagnética. Los valores de desempeño son: En la Situación 4, 0,42 para la solución de un problema de aplicación de la Ley de Gauss; en la Situación 5, 0,45 para describir y explicar una situación de inducción electromagnética, y 0,28 en Situación 7, para representar y argumentar un caso de situación de aplicación de una ecuación, que calcule el potencial o la diferencia de potencial eléctrico.

7.2.2. DESEMPEÑO EN LAS CATEGORÍAS SEGÚN CONCEPTOS

Los resultados de desempeño discutidos en la sección anterior, muestran diferencias cuantitativas si se agrupan en torno de tres grupos de conceptos: a) Álgebra vectorial y función; b) Campo eléctrico y magnético; c) Campo escalar y vectorial. En la Tabla 7.10, se presenta la distribución del desempeño promedio en estos tres grupos de conceptos en

cada una de las categorías de análisis. Se observa que los valores de desempeño de los grupos de conceptos Álgebra vectorial y función, y Campo eléctrico y magnético son superiores a los desempeños del grupo Campo escalar y vectorial.

Esta diferencia del desempeño entre grupos, se hace más evidente, cuando se analiza el desempeño promedio de cada grupo de conceptos. En efecto, al calcular el desempeño promedio en cada grupo de conceptos, se encuentra que los desempeños del grupo Campo escalar y vectorial es $\leq 0,53$ en todas las categorías, como se muestra la Figura 7.6. Sin embargo, los desempeños de los grupos de conceptos de Álgebra vectorial y función, y Campo eléctrico y magnético son $\geq 0,66$. Es decir, los desempeños del grupo Concepto de campo escalar y vectorial presentan los desempeños menores, separados por una brecha de 0,13 por debajo del desempeño promedio de los grupos anteriores.

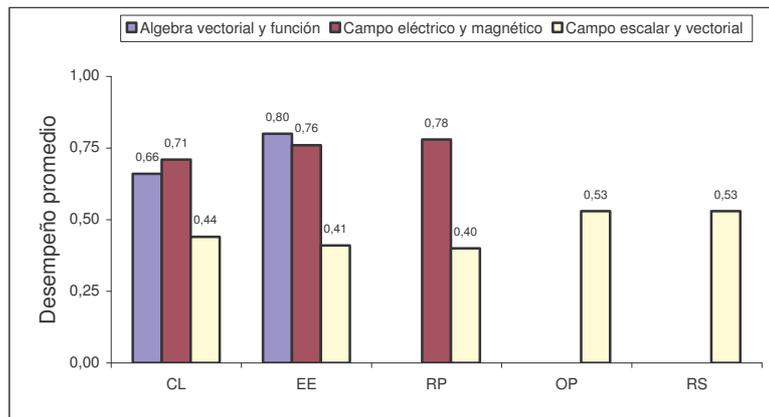
Tabla 7.10: Desempeño en las categorías según grupo de conceptos

Conceptos	Categorías	CL	EE	RP	OP	RS
Álgebra vectorial y función (Atributos de definición de conceptos de escalar, vector y función. Magnitudes: energía cinética, velocidad, momento dipolar magnético)		0,74	0,97			
		0,61	0,95			
			0,50			
Campo eléctrico y magnético (Atributos, definición operacional, representaciones simbólicas)		0,84	0,84	0,84		
		0,67	0,74	0,74		
		0,74				
		0,64				
Campo escalar y vectorial (Atributos de definición del concepto de campo escalar y vectorial. Magnitudes: temperatura, presión, densidad carga, densidad energía, potencial, flujo, circulación, inducción, densidad de corriente, velocidad en un fluido, densidad momento dipolar eléctrico, campo y fuerza eléctrica, fuerza magnética)		0,21	0,21	0,63	0,47	0,42
		0,63	0,58	0,37	0,11	0,45
		0,66	0,66	0,37	0,84	0,28
		0,37	0,16	0,28	0,58	0,63
		0,37	0,45	0,47		0,68
		0,16	0,58	0,58		0,68
		0,68	0,37	0,29		

Este resultado indica, que si bien, los estudiantes, después de realizar un curso de electromagnetismo, dispondrían de esquemas para enfrentar situaciones que requieren aplicación de significados de los conceptos de álgebra vectorial, función, campo eléctrico y magnético, aún manifiestan una aprehensión conceptual parcial del campo conceptual del concepto de campo.

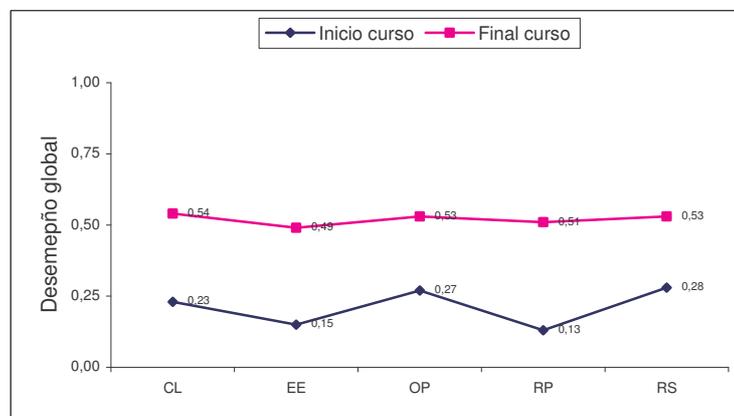
Esta conceptualización parcial, impide un mejor desempeño en situaciones y problemas, que involucran el uso de operaciones, representaciones, propiedades y leyes Físicas descritas por medio del concepto de campo. Posiblemente, los estudiantes aún no logran otorgar sentido a las situaciones y problemas, debido a una escasa disponibilidad de invariantes operatorios para interpretar los contenidos físicos, matemáticos y representaciones simbólicas de las situaciones.

Figura 7.6: Desempeños promedio según grupos de conceptos



Que los estudiantes, manifiesten una conceptualización parcial del campo conceptual, en el uso y aplicación de una diversidad de conceptos, no excluye un progreso en el aprendizaje de este campo conceptual, pues si se comparan los desempeños globales para la agrupación de conceptos ligados al concepto de campo (campo eléctrico y magnético; campo escalar y vectorial) al inicio y final del curso, se encuentra que los desempeños globales al inicio del curso son $\leq 0,28$. En cambio los desempeños al final del curso son $\geq 0,49$ en todas las categorías de análisis como se muestra en la Figura 7.7.

Figura 7.7: Desempeños globales al inicio y final del curso



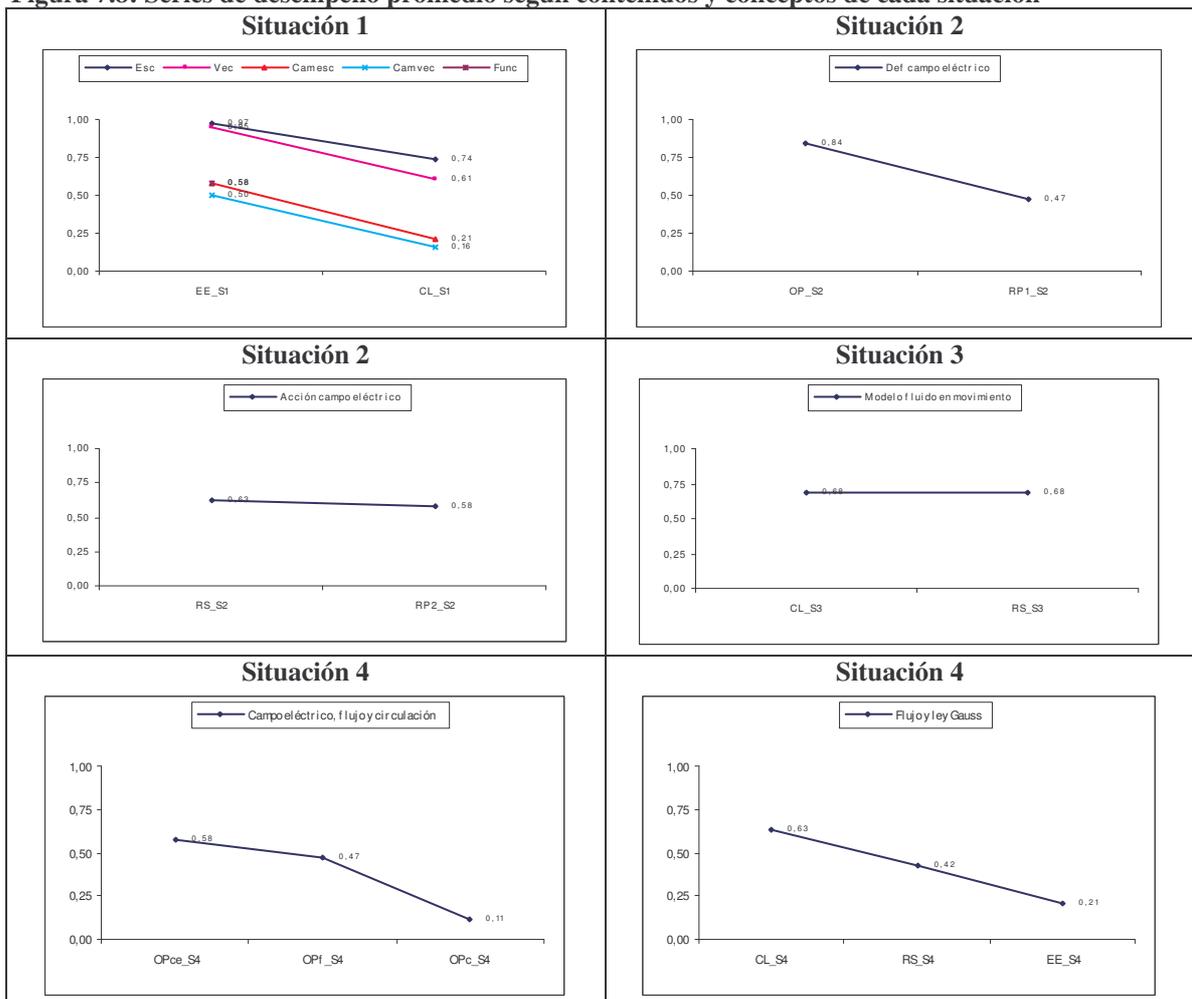
En consecuencia, este resultado muestra una progresividad apreciable, por parte de los estudiantes participantes en esta investigación, en el aprendizaje del campo conceptual del concepto de campo, que se manifiesta en el incremento de los valores de desempeño global en cada una de las categorías al final del curso, los cuales se distribuyen en una banda superior estrecha de amplitud $\Delta_{FC} = 0,06$ que tiene por límites mínimo y máximo los valores 0,51 y 0,57. En cambio, los desempeños al inicio del curso se distribuyen en

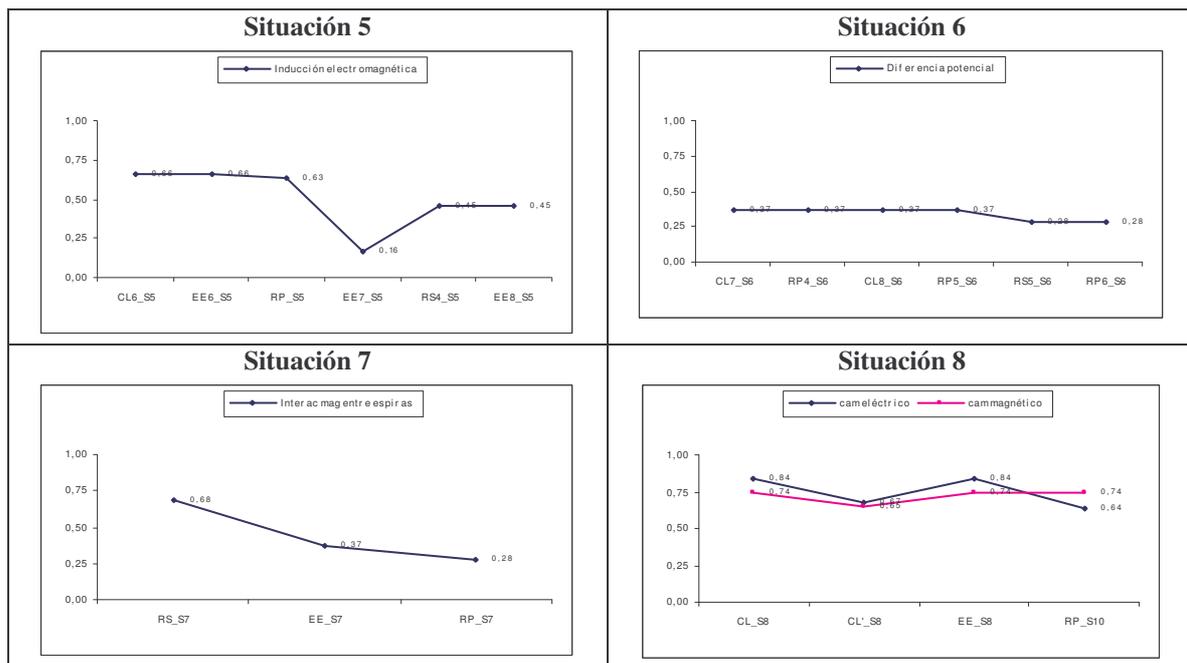
una banda inferior de amplitud mayor $\Delta_{IC} = 0,15$ con límites mínimo y máximo entre los valores 0,13 y 0,28 respectivamente.

7.2.3. DESEMPEÑO EN LAS CATEGORÍAS SEGÚN CONTENIDO DE LAS SITUACIONES

Para una mejor interpretación de los datos, es conveniente además, analizar e interpretar el desempeño de los estudiantes en cada Situación, en función de los contenidos incluidos en cada una de ellas. Así, para cada situación, se agruparon los desempeños en series, que tienen por elementos, los valores de desempeño de los ítems que se refieren a un contenido o concepto específico. En la Figura 7.8, se presentan estas series de desempeño, con sus valores ordenados de mayor a menor.

Figura 7.8: Series de desempeño promedio según contenidos y conceptos de cada situación





En general, en las series de la Figura 7.8, se observan tendencias y regularidades que se comentan a continuación:

En las series de ítems pertenecientes a las categorías Clasificación y Expresión Escrita, donde los contenidos de las expresiones escritas son explicaciones de clasificaciones (Situaciones 1, 5, y 8), los desempeños para todos los conceptos se ordenan de la forma $EE \geq CL$. En la Situación 1, el orden es $EE > CL$, observándose que las series con mayores desempeño corresponden a los conceptos de escalar y vector (0,97 y 0,95 en EE, y 0,74 y 0,61 en CL). En cambio, en esta misma situación, las series de los conceptos de campo escalar, campo vectorial y función, tienen desempeños $\leq 0,58$ en EE y $\leq 0,21$ en CL.

En las situaciones 5 y 8, se observa un comportamiento similar de las series con $EE \geq CL$. Este resultado estaría mostrando dificultades de los estudiantes, en el uso de los significados de los conceptos como medio de clasificación, que contradice la mayor explicitación de atributos de estos mismos conceptos mediante el lenguaje escrito. Este es el caso de la Situación 8, donde el desempeño en la explicitación de atributos de los campos eléctrico y magnético (0,84 y 0,74) es mayor a los desempeños de clasificación de estos conceptos como ejemplares de un campo vectorial. Además, estas dificultades aumentarían con la complejidad de los fenómenos y conceptos que los describen, como en el caso de la inducción electromagnética de la Situación 5, donde los desempeños de clasificación y su explicación bajan a valores de 0,66 respectivamente. Esto podría estar

indicando, que después de un ciclo de enseñanza, si bien se observa una progresividad en el aprendizaje conceptual, aún predominan aspectos de aprendizaje mecánico de los atributos de los conceptos.

En cambio, en las series con ítems de Expresión escrita y Resolución (Situaciones 4 y 7), donde las expresiones escritas representan explicaciones de operaciones ligadas al concepto de campo, o la resolución de un problema, el orden de los desempeños es RS>EE. Así, en la Situación 4, el orden es CL>RS>EE (0,63 > 0,42 > 0,21), y en la Situación 7, RS>EE>RP (0,68 > 0,37 > 0,28). Este comportamiento estaría mostrando dificultades de explicitación de conocimientos-en-acción de los *esquemas* de los estudiantes, para importantes conceptos y leyes Físicas del campo conceptual del concepto de campo, tales como flujo y ley de Gauss e inducción electromagnética. Además, se observa la permanencia al final de un curso de electromagnetismo, de dificultades en la comprensión y uso de representaciones simbólicas del concepto de campo.

En las series con ítems de Operación y Representación (Situaciones 2 y 4), el desempeño se ordena de la forma OP>RP. En la Situación 2, el desempeño para el cálculo del campo eléctrico en un punto del espacio es 0,84, en cambio el desempeño para su representación es 0,47. Por otra parte, en la Situación 4, se observa que el desempeño en operación decrece, conforme aumenta la complejidad de las operaciones para un campo eléctrico. Los desempeños se ordenan $OP_{ce} > OP_f > OP_c$ donde OP_{ce} es el desempeño para el cálculo del campo eléctrico en una superficie (0,58); OP_f el desempeño para el flujo (0,47) y OP_c es el desempeño para circulación a lo largo del contorno de la superficie (0,11). Este resultado indica que el desempeño en la categoría de Operación disminuye fuertemente a medida que aumenta la complejidad de las operaciones ligadas a un campo vectorial.

En las series de la Situación 6, los ítems de Clasificación y Representación, que corresponden a ítems de clasificación y representación de ejemplares de ecuaciones para la diferencia potencial infinitesimal, y de Resolución y Representación para la formulación de ejemplos de situaciones que puedan ser descritas por tales ecuaciones, se observa que los desempeños se ordenan con igual valor, es decir $CL=RP = 0,37$ y $RS=RP = 0,28$.

En la Situación 3, también se observa igualdad de desempeños en la serie Clasificación y Resolución, $CL=RS = 0,68$ para la categorización de los residuos de una planta de celulosa (fluido en movimiento) como un ejemplar de campo vectorial. Este comportamiento podría estar mostrando que los desempeños para algunas categorías tienden a equilibrarse, después de un ciclo de enseñanza, lo cual podría interpretarse como

precursores de la adquisición de conocimientos-en-acción, con significados científicos del concepto de campo y sus representaciones simbólicas.

7.2.4. NIVELES DE CONCEPTUALIZACIÓN EN EL CONCEPTO DE CAMPO

Para determinar el grado de dominio del campo conceptual del concepto de campo, al final del curso o ciclo de enseñanza, se analizó el desempeño de cada estudiante del mismo modo al realizado al comienzo del curso. Para ello, se determinó el puntaje de desempeño ponderado (PDP) obtenido por cada estudiante en el conjunto de 44 ítems. Luego, cada uno de los estudiantes fue asignado a uno de cinco niveles de conceptualización definidos de igual manera que en el Estudio 1 (ver Tabla 4.12; Estudio 1). Siguiendo un procedimiento de cálculo similar al efectuado en el Estudio 1. El puntaje de desempeño ponderado se determinó por la expresión.

$$PDP = \frac{4,4}{13}CL + \frac{6,6}{12}EE + \frac{11,0}{9}RP + \frac{11,0}{4}OP + \frac{11,0}{6}RS$$

donde, CL, EE, RP, OP y RS es el desempeño obtenido en cada categoría, con ponderaciones para *Clasificación 10%*, *Expresión escrita 15%*, *Representación, Operación y Resolución 25 %* respectivamente. Luego, se definió una Escala de Conceptualización de 0 a 5 puntos, de modo que al Nivel 0, le corresponde el intervalo entre 0 y 0,99 puntos; Nivel 1 de 1,00 a 1,99; Nivel 2 de 2,00 a 2,99; Nivel 3 de 3,00 a 3,99; y Nivel 4 de 4,00 a 5,00. Los resultados correspondientes al grado de conceptualización, según las medias del puntaje de conceptualización obtenido por los estudiantes participantes, al inicio y final del curso, sobre una escala de 0 a 5, se muestran en la Tabla 7.12.

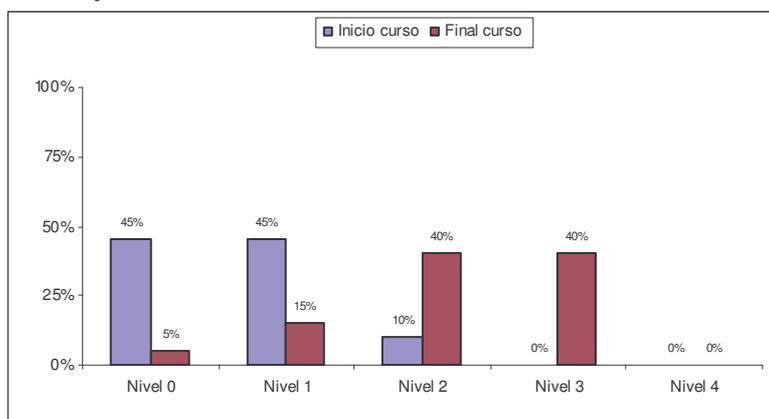
Tabla 7.12: Medias, desviaciones y número de participantes del puntaje de conceptualización al inicio y término del curso

Grado conceptualización	Medias	Desviación	Participantes
Inicio curso	1,07	0,59	20
Final curso	2,67	0,79	20

Al analizar la Tabla 7.12, se observa en primer lugar que el grado de conceptualización es significativamente mayor al final del curso ($t(19) = -8,976$, $p < ,000$), siendo 1,60 la diferencia (o espacio) entre las medias inicial y final del grado de

conceptualización de los estudiantes de este curso. En la Figura 7.9, se muestra la distribución de los estudiantes en cada uno de los niveles de conceptualización al final e inicio del curso.

Figura 7.9: Distribución estudiantes según niveles de conceptualización al inicio y final del curso



Se aprecia que el nivel más alto de conceptualización alcanzado, corresponde al Nivel 3, logrado por un 40 % de los estudiantes. Esto significa que al momento de finalizar el curso, solo un 40 % de los estudiantes participantes logra una conceptualización de transición de aprehensión del campo conceptual, que equivale a un reconocimiento y significación parcial del concepto de campo, con aplicación a situaciones. Otro 40 % de los estudiantes, alcanza el Nivel 2 de conceptualización de reconocimiento de un campo, con una explicitación parcial de significados científicos del concepto. Además, un 20% de los estudiantes participantes, se ubica en los Niveles 1 y 0 más bajos de conceptualización.

En el Nivel 3, pareciera ocurrir que el repertorio de esquemas disponibles para enfrentar situaciones del concepto de campo, no es comparable con los esquemas que subyacen a una conceptualización de grupo de conceptos de álgebra vectorial y función y el grupo de campo eléctrico y magnético. Esta diferencia del desempeño entre grupos de conceptos pareciera, ser una característica propia de este nivel de transición, que también ha sido observada al inicio del curso (ver Estudio 1). En el caso del presente estudio, los desempeños del grupo Concepto de campo escalar y vectorial, se ubican por debajo del desempeño promedio de los grupos álgebra vectorial y función y el grupo de campo eléctrico y magnético (Fig. 8), separados por una brecha de 0,13.

Lo anterior, confirma la idea, que las dificultades de adquisición de un campo conceptual, se refieren principalmente, a dificultades para conectar significados, operaciones y representaciones simbólicas, que se caracterizan por bajos niveles de

explicitación de invariantes operatorios y sus representaciones, predominando los aspectos procedimentales de las operaciones, sobre el uso de predicados de mayor riqueza conceptual (Vergnaud, 1998). Efectivamente en la categoría de operación, se observa con nitidez el predominio de aspectos procedimentales, pues en operaciones ligadas al concepto de campo eléctrico, los desempeños obtenidos que corresponden a cálculos del campo eléctrico en un punto del espacio, a partir de expresiones analíticas, son máximos 0,84 y 0,58 (ver Tabla 7.12). Sin embargo, en operaciones con significados físicos y matemáticos más complejos, como flujo (0,47) y circulación (0,11), el desempeño de los estudiantes es mucho menor.

En consecuencia, el nivel de conceptualización de transición alcanzado, se relaciona con un desarrollo de esquemas que se caracterizan por un grado de explicitación parcial de invariantes físicos del concepto de campo, con predominio de aspectos procedimentales asociados a invariantes de objetos matemáticos del concepto de campo.

El hecho que ningún estudiante alcance el Nivel 4, también es coherente con los valores intermedios del desempeño global (entre 0,51 y 0,57) observado en todas las categorías al final del curso (Fig. 7.7). Este resultado muestra insuficiencias en la disponibilidad conceptual para enfrentar situaciones que demandan un uso mayor de propiedades, relaciones y transformaciones científicas del concepto de campo.

7.3. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO 4

Al término del curso de Electricidad y Magnetismo, ningún estudiante alcanza el nivel de conceptualización superior (Nivel 4), de aprehensión del concepto de campo, acorde con los objetivos del curso y del currículum.

Solo un 40 % de los estudiantes alcanza el Nivel 3 de transición, que corresponde a un reconocimiento y explicación parcial de significados de este campo conceptual. Este nivel alcanzado se caracteriza por un desarrollo de esquemas, que permiten el reconocimiento de situaciones y la clasificación de magnitudes mediante el concepto de campo, con explicaciones que reflejan organización y comprensión de significados, uso de operaciones y representaciones simbólicas de los conceptos, pero aún sin lograr conectarlas completamente. Además, los estudiantes recurren al concepto de campo y lo usan, aunque no siempre exitosamente, en la resolución de un problema.

Los resultados de este estudio, muestran que al término de un curso de Electricidad y Magnetismo, la mayoría de los estudiantes, no usan aún un amplio repertorio de esquemas con invariantes apropiados para interpretar las situaciones desde el concepto de campo.

Esta visión de ausencia de invariantes físicos y matemáticos del concepto de campo, concuerda con resultados de otras investigaciones interpretados desde otros referentes teóricos. Por ejemplo, Furió y Guisasola (2001); Guisasola, (2001), destacan, que cuando los estudiantes se enfrentan a una “...*cueestión de conflicto cognitivo...*” (Guisasola, 2001 p.60), como la jaula de Faraday, que requiere una concepción de la interacción eléctrica apoyada en el concepto de campo y ley de Gauss, el número de respuestas correctas es bajo, incluso en niveles universitarios. También, otra investigación realizada por Guisasola, Almudí y Zubimendi (2003), informa que las interpretaciones de los estudiantes en fenómenos relacionados con la naturaleza y fuentes de campo magnético, la mayoría manifiesta un conocimiento declarativo adecuado. Sin embargo, cuando los estudiantes deben aplicar significativamente tal conocimiento, una parte importante se “... *resiste a aceptar la existencia de una propiedad (el campo magnético) que no se manifiesta mediante un comportamiento perceptible...*” (Guisasola, Almudí y Zubimendi, 2003).

La mayoría de los estudiantes dan significado y sentido a las situaciones desde esquemas con invariantes de los conceptos de álgebra vectorial y función, sin lograr acomodar estos invariantes a esquemas más generales que representen el concepto de campo. Sólo una minoría acomoda sus esquemas a una representación general del concepto de campo. Pareciera que la mayoría sólo alcanza una acomodación a esquemas de representaciones específicas de los conceptos de campo eléctrico y magnético, en situaciones que dependen del contexto.

Otro aspecto importante de destacar, es que los menores valores de desempeños promedio por grupos de conceptos, ocurren en las categorías de representación y expresión escrita del grupo campo escalar y vectorial. Esto pone de manifiesto la existencia de dificultades en la asimilación y uso de representaciones simbólicas y lingüísticas que den significado y sentido factible de explicitar el concepto de campo.

Así, el desempeño promedio observado en el uso de representaciones del grupo campo eléctrico y magnético es 0,78 (Fig. 7.6), notoriamente superior al desempeño en representaciones del grupo de campo escalar y vectorial. Respecto al uso de representaciones lingüísticas (expresión escrita), los desempeños en expresiones utilizadas

en las clasificaciones realizadas usando los conceptos de los grupos de álgebra vectorial y función, y campo eléctrico y magnético, son superiores a los desempeños en expresiones usadas para justificar clasificaciones y explicar situaciones usando el concepto de campo (Fig. 7.6).

Probablemente, este hecho, sea un indicador a tener presente al momento de explorar y evaluar el uso y disponibilidad de instrumentos semióticos de representación simbólica que dan significado a las acciones de los estudiantes en las situaciones, y constatar las dificultades de asimilación de conceptos de mayor complejidad y abstracción, como sería el concepto de campo, señaladas por la teoría de campos conceptuales (Vergnaud, 1998).

Para finalizar, es importante resaltar la potencialidad de las premisas y las aseveraciones de la teoría de campos conceptuales (Vergnaud, 1981), que la materia enseñada y los conceptos no sólo deben ser definidos por su estructura, sino que además se requiere considerar las situaciones en las cuales son usados y los sistemas de representación simbólica que los estudiantes utilizan para pensar y escribir acerca de un concepto.

Las principales implicaciones que surgen de los resultados de este estudio, apuntan a la definición y consolidación de una metodología, para la caracterización de representaciones o conocimientos-en-acción del campo conceptual del concepto de campo. Ampliar el diseño y aplicación a otros instrumentos similares, que permitan recoger nuevos datos a medida que los estudiantes avanzan en la adquisición de un campo conceptual.

En síntesis, las implicaciones de este estudio apuntan a la realización de nuevos estudios, que aporten conocimiento sobre el proceso de adquisición, dominio y progresividad del aprendizaje significativo del campo conceptual del concepto de campo. Además, identificar dificultades en la progresividad del aprendizaje del concepto, y definir criterios para el diseño de propuestas de enseñanza de este concepto fundamental para el aprendizaje y enseñanza de la Física.

CAPÍTULO 8:

ESTUDIO 5:

APRENDIZAJE DEL CAMPO CONCEPTUAL DESDE LA FÍSICA

El presente estudio corresponde al último de los estudios realizados para alcanzar los objetivos de la tesis. El propósito fue usar las Pruebas Parciales de evaluación de contenidos rendidas por los estudiantes del curso, realizadas con la pretensión de caracterizar los significados de física del campo conceptual del campo electromagnético, adquiridos por los estudiantes participantes en el curso de “*Electricidad y Magnetismo*”.

De acuerdo con las hipótesis que orientan y guían la investigación, la realización de este estudio, supuso disponer de una base de datos con los significados de los contenidos de Física aprendidos por los estudiantes, para investigar dos aspectos. Primero, identificar y caracterizar los contenidos de Física del campo conceptual del concepto de campo aprendidos por los estudiantes. Segundo, evaluar la factibilidad de usar los resultados anteriores como referencia para complementar la descripción del proceso de conceptualización, con los significados específicos de física que subyacen en el proceso de conceptualización investigado en los cuatro estudios anteriores.

Por este motivo los objetivos propuestos para este estudio fueron los siguientes:

- c) Determinar grados comprensión y resultados de aprendizaje de los contenidos de Física del campo conceptual del concepto de campo.
- d) Caracterizar los significados de Física que subyacen a lo largo del proceso de conceptualización en el campo conceptual del concepto de campo.

En resumen, se buscaba usar otra fuente de información para validar y consolidar la metodología diseñada en esta tesis, para el estudio de los vínculos entre la estructura conceptual del campo conceptual del concepto de campo construida por la Física y la conceptualización construida por los estudiantes. Todo lo anterior, para determinar y caracterizar la comprensión y resultados de aprendizaje alcanzado por los estudiantes.

8.1. MÉTODO

8.1.1. PARTICIPANTES

La muestra estuvo conformada por 20 estudiantes (15 hombres y 5 mujeres) entre 18 y 23 años de edad, del curso de Electricidad y Magnetismo de la carrera de Ingeniería de la Universidad de La Frontera.

8.1.2. INSTRUMENTOS

Los instrumentos para recolectar datos de los significados de los contenidos de Física del campo conceptual, adquiridos por los participantes durante el desarrollo de la asignatura, fueron las Pruebas elaboradas para la evaluación de contenidos del curso. Los contenidos de cada prueba se agrupan en torno a unidades del programa del curso y consisten en un conjunto de preguntas de selección múltiple, preguntas de respuesta breve abierta y resolución de problemas (ver Anexos 5, 6, 7 y 8). En la elaboración de las pruebas, participaron tres profesores del curso de “*Electricidad y Magnetismo*”.

8.1.3. PROCEDIMIENTO

Cada una de las Pruebas se administró colectivamente en una sala de clases, al mismo grupo de 20 estudiantes de las carreras de Ingeniería de la Universidad de La Frontera, Chile, al término de la enseñanza de un grupo de Unidades del Programa. La aplicación tuvo una duración de 120 min aproximadamente.

8.1.4. BASE DE DATOS

Para los fines de disponer de una base de datos para analizar y caracterizar los significados adquiridos de los contenidos del campo conceptual, las respuestas de los estudiantes en cada una de las Pruebas (Anexos 5, 6, 7 y 8), fueron sometidas a un proceso de codificación. Luego se analizaron cualitativamente y se agruparon en un conjunto de 42 ítems de contenidos de Física del campo conceptual, los cuales se presentan en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1: Descripción de los ítems de contenidos definidos a partir de las Pruebas de evaluación

Pruebas	Unidades evaluadas	Ítem	Descripción de los ítems	
Prueba N° 1	1. Carga y fuerza eléctrica.	T1	Electroscopio y propiedades carga	
		T2	Conservación de la carga	
		T3	Carga y densidad de carga	
	2. Campo eléctrico		T4	Fuerza, ley de Coulomb y principio de superposición
			T5	Fuerza y movimiento de una carga en un campo eléctrico
			T6	Carga, campo eléctrico y generador electrostático
			T7	Líneas de campo y propiedades de un conductor
			T8	Interacción entre una carga puntual y una distribución
			T9	Campo eléctrico de una distribución de cargas
			T10	Campo eléctrico de una distribución continua de cargas
			T11	Campo eléctrico de un dipolo
			T12	Campo eléctrico en un conductor
			T13	Movimiento de una partícula en un campo uniforme
Prueba N° 2	3. Ley de Gauss	T14	Propiedades electrostáticas de un conductor	
		T15	Ley de Gauss y principio de superposición	
		T16	Flujo y ley de Gauss	
	4. Potencial eléctrico		T17	Aplicación de la ley de Gauss a un campo conocido
			T18	Flujo y aplicación de ley de Gauss a distribución cilíndrica
			T19	Movimiento y conservación energía carga en un campo eléctrico
			T20	Representaciones simbólicas del potencial eléctrico
			T21	Relación entre campo y potencial
			T22	Potencial de una carga puntual y de una distribución
			T23	Determinación del potencial, conocido el campo eléctrico
			T24	Determinación del potencial de una distribución de carga
Prueba N° 3	5. Capacidad	T25	Capacidad y carga eléctrica	
		T26	Capacidad y dieléctricos	
	6. Corrientes estacionarias		T27	Asociación de capacitores y carga
			T28	Corriente, resistencia, campo eléctrico y potencia
			T29	Resistencia, resistividad y ley de Ohm
			T30	Fem., circuitos y ley de Ohm
			T31	Circuito RC y descarga de un capacitor
			T32	Circuito RC estacionario
Prueba N° 4	7. Fuerza magnética	T33	Trayectoria de una partícula en un campo magnético	
		T34	Diferencias entre un campo eléctrico y magnético	
	8. Campo magnético		T35	Movimiento de protones en un ciclotrón
			T36	Equilibrio de un conductor en campos magnético y gravitatorio
			T37	Interacción entre un dipolo y un campo magnético
			T38	Superposición de campos magnéticos de una bobina y terrestre
	9. Inducción electromagnética		T39	Propiedades del flujo magnético
			T40	Campo magnético de una partícula en órbita circular
			T41	Fem. inducida de movimiento
			T42	Movimiento giratorio de una bobina en un campo magnético

Además, se contó como información complementaria, la base de *Notas* (calificaciones) obtenidas por los estudiantes en cada prueba.

8.1.5 ANÁLISIS DE LOS DATOS

A cada ítem de contenidos se asignó una puntuación de desempeño, de acuerdo a la concordancia de las respuestas con los significados científicos de los conceptos medidos. Se

otorgó una puntuación de 1 a las respuestas *totalmente correctas*, 0,5 a las *parcialmente correctas* y 0 a las *incorrectas*. La puntuación máxima posible de obtener en cada prueba dependió del número de ítems definidos en cada una de ellas. Por lo tanto, la distribución de la puntuación máxima posible de obtener en cada prueba fue de 13, 11, 8 y 10 puntos respectivamente.

8.2. RESULTADOS

8.2.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DESEMPEÑO

La presentación de resultados de este estudio se hace a través de gráficos de desempeño para facilitar su lectura. También se presentan las tablas de donde se han obtenido los gráficos. Para la interpretación de los desempeños y notas obtenidas por los estudiantes en cada una de las pruebas, se han empleado dos gráficos y una tabla que son complementarios. A continuación se pasa a describir la pauta de presentación de estos resultados para guiar la forma de utilizarlos en la interpretación.

Para cada una de las pruebas, la Tabla 8.2 contiene el desempeño promedio obtenido por los estudiantes en cada uno de los ítems, y el primer gráfico representa el desempeño promedio en cada ítem en orden decreciente. Esto con el propósito de identificar y caracterizar los significados adquiridos del campo conceptual del campo electromagnético. El segundo gráfico, complementario del primero, contiene la relación de dispersión entre los desempeños y las notas obtenidas por los estudiantes en cada prueba. Esto para analizar la representatividad de los datos de desempeño que caracterizarían los significados adquiridos del campo conceptual.

A continuación, se presentan los resultados de este estudio de acuerdo con la pauta de presentación descrita anteriormente.

8.2.1.1. PRUEBA N° 1

Los ítems de contenidos de la primera prueba se refieren a las unidades *Carga y fuerza eléctrica* y *Campo eléctrico* del programa del curso. Estas unidades consideran los siguientes contenidos de Física: fenómenos electrostáticos; propiedades de la carga eléctrica; fuerza y ley de Coulomb; principio de superposición; fuerza entre distribuciones de cargas puntuales; definición de campo eléctrico; dinámica de una partícula en un campo eléctrico uniforme;

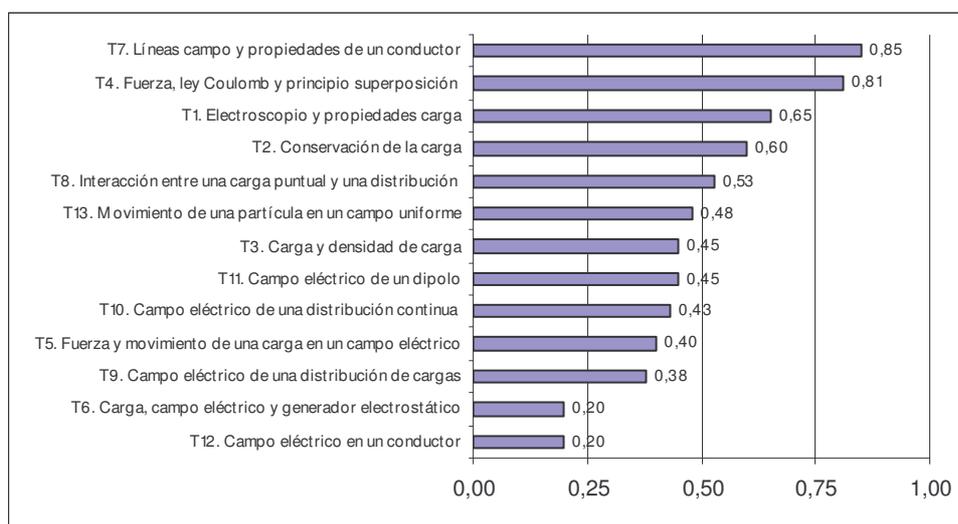
campo eléctrico generado por distribuciones discretas y continuas de carga eléctrica, y campo eléctrico en el interior de un conductor en equilibrio electrostático. En la Tabla 8.2, se presenta la descripción de los contenidos de Física de cada ítem y los valores del desempeño promedio obtenidos por los estudiantes en cada uno de ellos.

Tabla 8.2: Desempeño promedio en los ítems de contenido de la Prueba N° 1

Ítem	Descripción	Desempeño
T1	Electroscopio y propiedades de carga	0,65
T2	Conservación carga	0,60
T3	Carga y densidad de carga	0,45
T4	Fuerza eléctrica, ley Coulomb y principio superposición	0,81
T5	Fuerza y movimiento de una partícula cargada	0,40
T6	Carga, campo eléctrico y generador electrostático	0,20
T7	Líneas campo y propiedades de un conductor	0,85
T8	Interacción entre una carga puntual y una distribución	0,53
T9	Campo eléctrico de una distribución de cargas	0,38
T10	Campo eléctrico de una distribución continua	0,43
T11	Campo eléctrico de un dipolo	0,45
T12	Campo eléctrico en un conductor	0,20
T13	Movimiento de una partícula en un campo uniforme	0,48

En la Figura 8.1 se presentan los desempeños promedio por ítem en orden decreciente.

Figura 8.1: Desempeños promedio en los ítems de contenido de la Prueba N° 1



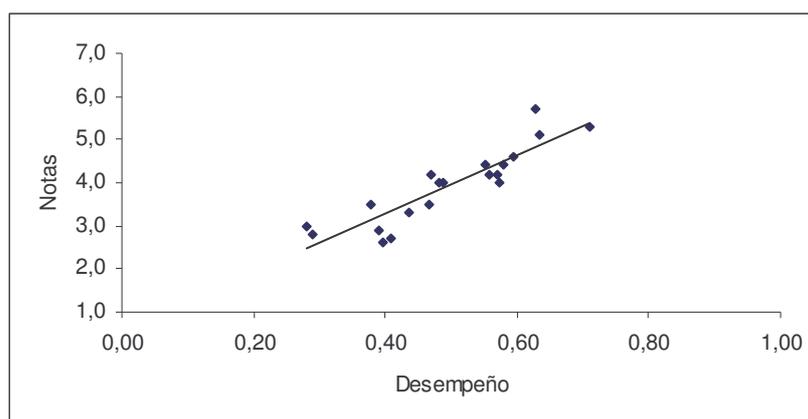
Se observa que del total de 13 ítems definidos para esta Prueba, en sólo cinco ítems los desempeños son mayores a 0,50, lo cual equivale a una comprensión parcial aceptable de significados científicos de los conceptos involucrados. Los desempeños de este subgrupo de esta categoría varían en el rango de 0,83 y 0,53, y los contenidos se refieren mayoritariamente a propiedades de la carga, interacciones entre cargas descritas por la ley de Coulomb y el

principio de superposición. Sólo el ítem T7, que corresponde a contenidos asociados al concepto de campo eléctrico, tiene el mayor valor de desempeño (0,83), y se refiere a la interpretación y comprensión de diagramas de líneas de campo y propiedades electrostáticas de un conductor. Sin embargo, llama la atención que el menor desempeño, sea en ítem T12 (0,20), que también se refiere a propiedades del campo eléctrico en un conductor, específicamente a la comprensión del funcionamiento y uso de la Jaula de Faraday.

Por otra parte, seis ítems tienen desempeños en el rango de 0,48 a 0,28, que equivale a una comprensión parcial mínima de significados de los conceptos que representan dichos ítems. Todos estos ítems se refieren a contenidos asociados al concepto de campo eléctrico. Específicamente, movimiento de una carga en un campo eléctrico, densidad de carga, campo eléctrico generado por fuentes de cargas puntuales y continuas. Además otros dos ítems se ubican en el rango de desempeños de 0,20 a 0,0 que equivale a una comprensión incipiente de significados del concepto campo eléctrico.

Con el propósito de analizar la representatividad de los datos y resultados del desempeño que caracterizarían los significados científicos adquiridos del campo conceptual, en la Figura 8.2 se muestra, el diagrama de dispersión entre el desempeño promedio de cada estudiante en los ítems de contenidos y las notas obtenidas por los estudiantes en la primera prueba.

Figura 8.2: Dispersión entre desempeños de contenidos y notas de la Prueba N° 1



El diagrama de dispersión muestra una correlación positiva con un coeficiente de correlación entre estas variables $r = 0,894$ ($p < .000$) lo cual indica que los valores de desempeño de ítems de contenidos representarían significados del campo conceptual del concepto de campo estadísticamente confiables.

8.2.1.2. PRUEBA N° 2

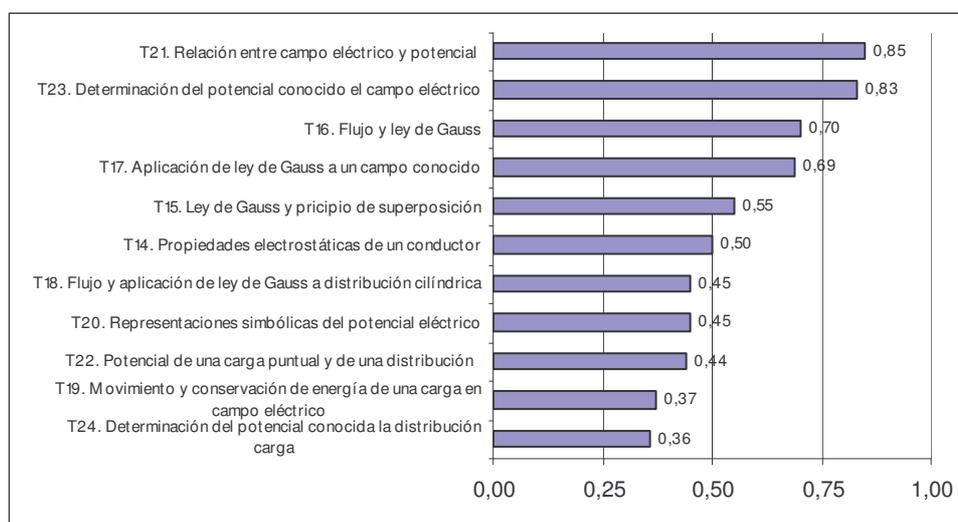
Los ítems de contenidos de la Prueba N° 2 se refieren a las unidades *Ley de Gauss* y *Potencial eléctrico* del programa del curso. Estas unidades consideran los siguientes contenidos de Física: flujo del campo eléctrico; ley de Gauss para el campo eléctrico; ley de Gauss y cálculo de campos eléctricos; naturaleza conservativa del campo eléctrico; energía potencial eléctrica; diferencia de potencial eléctrico; movimiento y conservación de la energía de una partícula en un campo eléctrico; cálculo del potencial eléctrico de una distribución de cargas; cálculo del potencial eléctrico conocido el campo eléctrico; características del conductor en equilibrio electrostático. En la Tabla 8.3, se presenta los contenidos de Física de cada ítem y los valores del desempeño promedio de los estudiantes en cada uno de ellos.

Tabla 8.3: Desempeño promedio en los ítems de contenido de la Prueba N° 2

Ítem	Descripción	Desempeño
T14	Propiedades electrostáticas de un conductor	0,50
T15	Ley de Gauss y principio de superposición	0,55
T16	Flujo eléctrico y ley de Gauss	0,70
T17	Aplicación de ley de Gauss a un campo eléctrico conocido	0,69
T18	Flujo y aplicación ley de Gauss a una distribución cilíndrica	0,45
T19	Movimiento y conservación de energía de una carga en campo eléctrico	0,37
T20	Representaciones simbólicas del potencial eléctrico	0,45
T21	Relaciones entre campo eléctrico y potencial	0,85
T22	Potencial de una carga puntual y una distribución continua	0,44
T10	Determinación del potencial conocido el campo eléctrico	0,83
T11	Determinación del potencial de una distribución de carga	0,36

En la Figura 8.3 se presentan los desempeños promedio por ítem en orden decreciente.

Figura 8.3: Desempeños promedio en los ítems de contenido de la Prueba N° 2

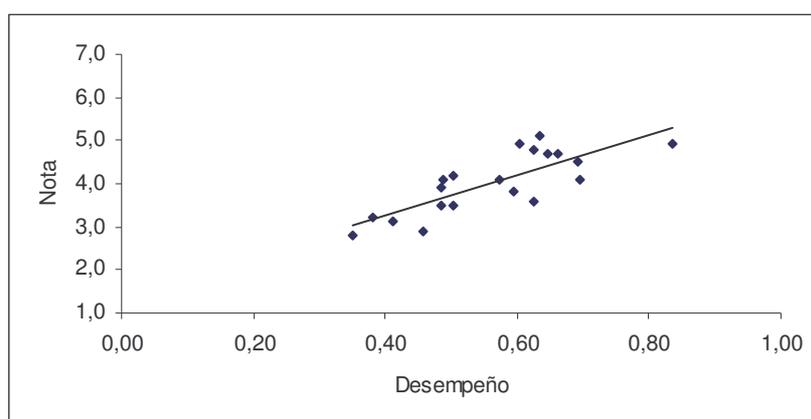


Se observa que del total de 11 ítems definidos para esta prueba, seis ítems se ubican en el rango de desempeños mayores a 0,50, que equivale a una comprensión parcial aceptable de significados científicos de conceptos del campo conceptual del concepto de campo. Los desempeños de este subgrupo varían en el rango de 0,85 y 0,50 y cubren contenidos de las dos unidades evaluadas. En particular, destacan los desempeños de los ítems T21 (0,85) y T23 (0,83) que corresponden a contenidos y significados de la relación entre potencial y campo eléctrico y, la determinación del potencial a partir del campo eléctrico respectivamente. Los otros cuatro ítems con desempeños destacables son T16 (0,70), T17 (0,69), T15 (0,55) y T14 (0,50) que se refieren a significados de flujo, ley de Gauss y sus aplicaciones.

Los desempeños de los cinco ítems restantes, se ubican en el rango de desempeños de 0,45 a 0,36, que equivale a una comprensión parcial mínima de los significados de los conceptos que representan. Todos los ítems de este rango de desempeño se refieren a contenidos asociados a flujo y ley de Gauss y sus aplicaciones, representaciones simbólicas del potencial, determinación del potencial de fuentes de cargas puntuales y continuas, y movimiento y conservación de la energía de una carga en un campo eléctrico. Ningún ítem registra desempeños menores a 0,25.

Para analizar la representatividad de estos datos y resultados del desempeño que caracterizaría los significados científicos adquiridos del campo conceptual, en la Figura 8.4 se presenta el diagrama de dispersión del desempeño promedio de cada estudiante en los 11 ítems de contenidos y las notas obtenidas en la segunda prueba.

Figura 8.4: Dispersión entre desempeños de contenidos y notas de la Prueba N° 2



El diagrama de dispersión muestra una correlación positiva, con un coeficiente de correlación entre estas variables $r = 0,793$ ($p < .000$) lo cual indica que los valores de

desempeño de los ítems de contenidos representarían significados del campo conceptual del concepto de campo estadísticamente confiables.

8.2.1.3. PRUEBA N° 3

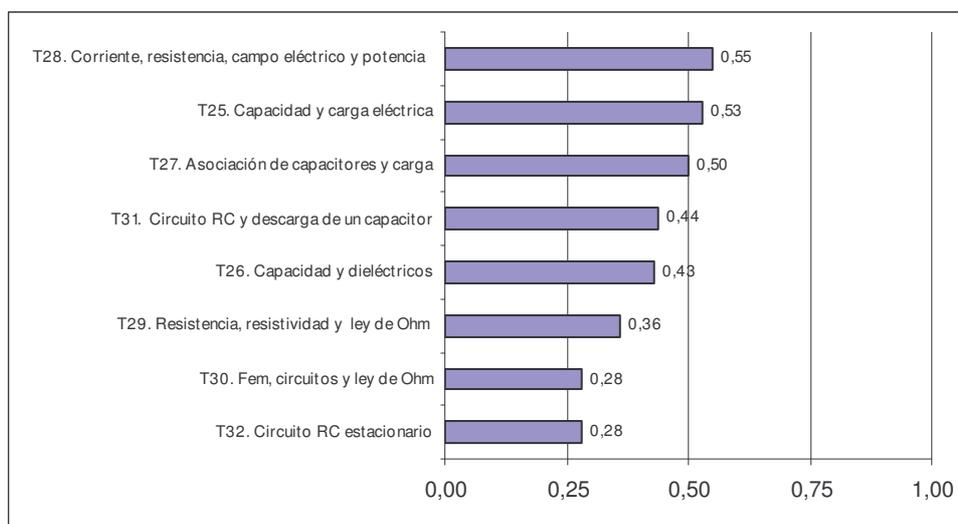
Los ítems de contenidos de la Prueba N° 3 se refieren a las unidades *Capacidad y Corrientes eléctricas estacionarias* del programa del curso. Estas unidades consideran los siguientes contenidos de Física: capacidad; capacidad de un conductor aislado; capacitores, asociación de capacitores en serie y en paralelo; energía de un condensador cargado; densidad de energía eléctrica; efecto de un dieléctrico en la capacidad; intensidad de corriente eléctrica; modelo de conducción; densidad de corriente; conductividad eléctrica y ley de Ohm; cálculo de resistencias; circuito, fem y efecto Joule; resistencias serie y paralelo; y circuitos RC. En la Tabla 8.4, se presenta los contenidos de Física de cada ítem y los valores del desempeño promedio de los estudiantes en cada uno de ellos.

Tabla 8.4: Desempeño promedio en los ítems de contenido de la Prueba N° 3

Ítem	Descripción	Desempeño
T25	Capacidad y carga eléctrica	0,53
T26	Capacidad y dieléctricos	0,43
T27	Asociación de capacitores y carga	0,50
T28	Corriente, resistencia, campo eléctrico, energía y potencia	0,55
T29	Resistencia, resistividad y ley de Ohm	0,36
T30	Fem y circuitos	0,28
T31	Circuito RC y descarga de un capacitor	0,44
T32	Circuito RC estacionario	0,28

En la Figura 8.5 se presentan los desempeños promedio en orden decreciente.

Figura 8.5: Desempeños promedio en los ítems de contenido de la Prueba N° 3

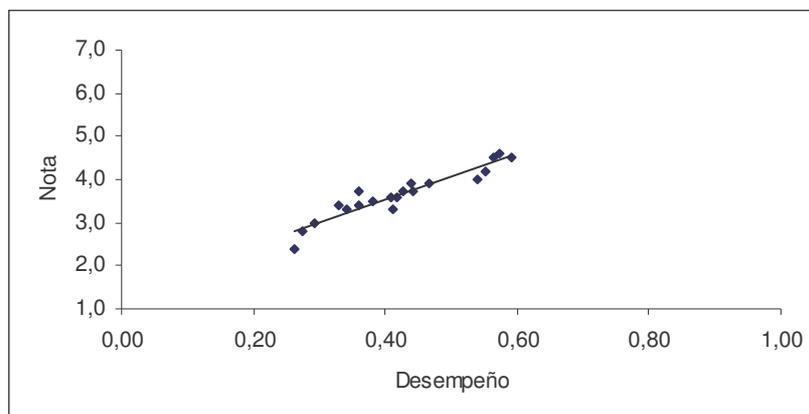


En general se observa que los desempeños de esta prueba son pobres. Se observa que del total de 8 ítems definidos para esta prueba, apenas tres ítems presentan desempeños levemente mayores a 0,50, que equivale a una comprensión parcial aceptable de significados científicos de conceptos del campo conceptual del concepto de campo. Los desempeños de este subgrupo varían en el rango de 0,55 y 0,50. El mayor desempeño es del ítem T28 (0,55) que se refiere a los contenidos de corriente, campo eléctrico impulsor resistencia, potencia. Le siguen los desempeños de los ítems T25 (0,53) y T27 (0,50) que corresponden a los contenidos de capacidad y asociación de capacitores respectivamente.

Los desempeños de los cinco ítems restantes, están en el rango de desempeños de 0,44 a 0,28, que equivale a una comprensión parcial mínima de los significados de los conceptos que representan. Todos los ítems de este rango de desempeño se refieren a contenidos de circuitos RC; capacidad y dieléctricos; resistencia, resistividad y ley de Ohm, circuitos, fem y ley de Ohm. Ningún ítem registra desempeños menores a 0,25.

Para analizar la representatividad de estos datos y resultados del desempeño que caracterizaría los significados científicos adquiridos del campo conceptual, en la Figura 8.6 se presenta el diagrama de dispersión del desempeño promedio de cada estudiante en los 8 ítems de contenidos y las notas obtenidas por los estudiantes en la Prueba N° 3.

Figura 8.6: Dispersión entre desempeños de contenidos y notas de la Prueba N° 3



Se observa en el diagrama de dispersión una correlación positiva, con un coeficiente de correlación entre estas variables $r = 0,946$ ($p < .000$), que indica que los valores de desempeño de los ítems de contenidos representarían significados del campo conceptual del concepto de campo estadísticamente confiables.

8.2.1.4. PRUEBA N° 4

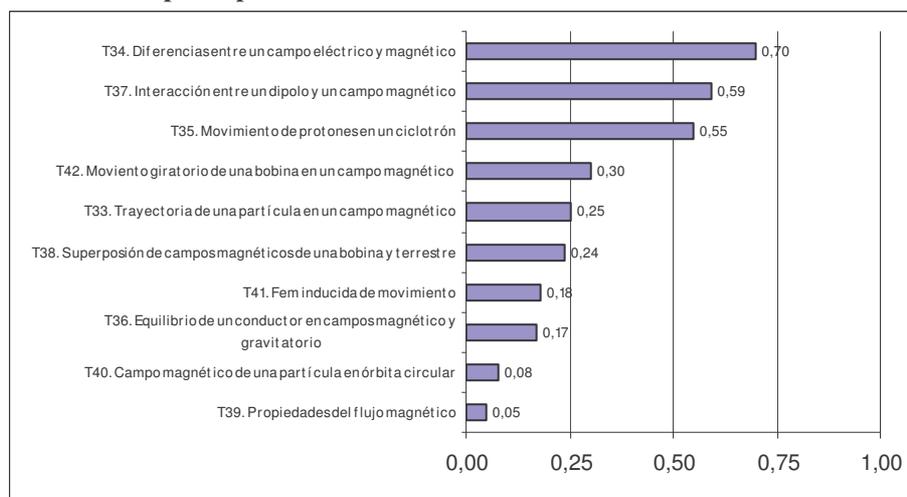
Los ítems de contenidos de la Prueba N° 4 se refieren a las unidades *Fuerza magnética, Campo magnético e Inducción electromagnética* del programa del curso. Estas unidades incluyen contenidos de: magnetismo; interacción magnética desde el modelo de campo; dinámica de una partícula en un campo magnético uniforme y aplicaciones; fuerza magnética sobre una corriente y aplicaciones; dipolos y espectros de campo magnético; ley de Biot-Savart y aplicaciones; ley de Ampère y aplicaciones; experimentos de Faraday; fem inducida en un conductor móvil; fem inducida y flujo magnético; ley de Faraday y aplicaciones, corriente de desplazamiento. En la Tabla 8.5, se presenta los contenidos de cada ítem y los valores del desempeño promedio obtenidos por los estudiantes.

Tabla 8.5: Desempeño promedio en los ítems de contenido de la Prueba N° 4

Ítem	Descripción	Desempeño
T33	Trayectoria de una partícula en un campo magnético	0,25
T34	Diferencias entre los campos eléctrico y magnético	0,70
T35	Movimiento de protones en un ciclotrón	0,55
T36	Equilibrio de un conductor en campo magnético y gravitatorio	0,17
T37	Interacción de un dipolo con un campo magnético	0,59
T38	Superposición de los campos magnéticos de una bobina y terrestre	0,24
T39	Propiedades del flujo magnético	0,05
T40	Campo magnético de una partícula en órbita circular	0,08
T41	Fem inducida de movimiento	0,18
T42	Movimiento giratorio de una bobina en un campo magnético	0,30

En la Figura 8.7 se presentan los desempeños promedio ordenados en orden decreciente.

Figura 8.7: Desempeños promedio en los ítems de contenido de la Prueba N° 4



En general se observa que los desempeños de esta prueba son bajos, al igual que en la prueba anterior. Se observa que del total de 10 ítems definidos para esta prueba, solamente

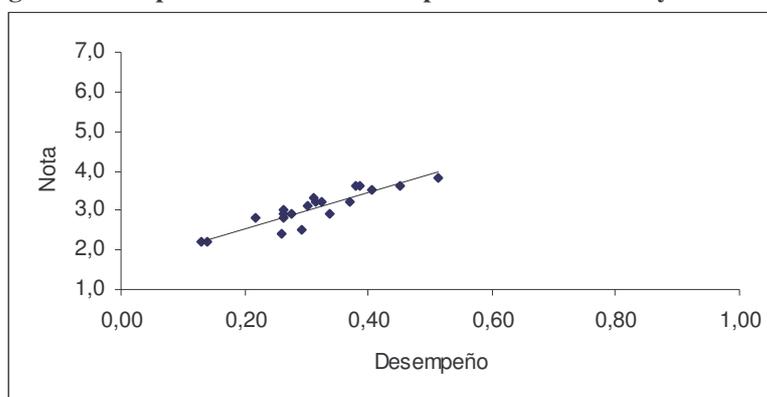
tres ítems presentan desempeños mayores a 0,50, que equivale a una comprensión parcial aceptable de significados científicos de conceptos del campo conceptual del concepto de campo. Los desempeños de este subgrupo varían en el rango de 0,70 y 0,50. El mayor desempeño es en el ítem T34 (0,70) que se refiere a describir y explicar diferencias entre los campos eléctrico y magnético. A continuación, siguen los desempeños de los ítems T37 (0,59) y T35 (0,55) que corresponden a los contenidos de interacción entre un dipolo y un campo magnético, y el movimiento de protones en un ciclotrón respectivamente.

Los desempeños de los siete ítems restantes, se distribuyen en dos rangos distinguibles, todos menores a 0,50. Dos ítems, T42 y T33 tienen desempeños en el rango de 0,30 a 0,25, que equivale a una comprensión parcial mínima de significados de los conceptos que representan. Estos contenidos se refieren a movimiento de rotación de un dipolo en un campo magnético y la descripción de la trayectoria de una partícula en un campo magnético.

Los otros cinco ítems están en el rango de desempeños de 0,24 a 0,05 que equivale a una comprensión incipiente de significados del concepto campo eléctrico. Estos ítems son T38 (0,24), T41 (0,18), T36 (0,17), T40 (0,08) y T39 (0,05) que corresponden a una diversidad de contenidos asociados a campos magnéticos estacionarios y variables en el tiempo, tales como, superposición de campos de una corriente con el campo magnético terrestre; equilibrio mecánico de un conductor en un campo magnético y campo gravitatorio; campo magnético generado por una carga en movimiento; propiedades del flujo magnético; y Fem inducida por movimiento.

Para analizar la representatividad de estos datos y resultados del desempeño que caracterizaría los significados científicos adquiridos del campo conceptual, se presenta en la Figura 8.8 el diagrama de dispersión del desempeño promedio en los ítems de contenidos y las notas obtenidas por los estudiantes en la Prueba N° 4.

Figura 8.8: Dispersión entre los desempeños de contenidos y notas de la Prueba N° 4



Del mismo modo que en las pruebas anteriores, se observa en el diagrama de dispersión una correlación positiva, con un coeficiente de correlación entre estas variables $r = 0,902$ ($p < .000$), que indica que los valores de desempeño de los ítems de contenidos representarían significados del campo conceptual del concepto de campo estadísticamente confiables.

8.2.2. CLASIFICACIÓN JERÁRQUICA DE LOS ÍTEMS SEGÚN DESEMPEÑO

Para caracterizar los significados de Física que subyacen a lo largo del proceso de conceptualización del campo conceptual del campo analizado en los cuatro estudios anteriores, y determinar grados de aprendizaje del campo conceptual del concepto de campo se analizó el desempeño promedio del conjunto de 42 ítems de contenidos en orden decreciente, y se clasificaron jerárquicamente de acuerdo a una escala de 0 a 1, con cuatro rangos de desempeño. Así, un ítem con un desempeño entre 1,00 a 0,75, se interpreta que sus significados podrían considerarse adquiridos por los estudiantes. Un ítem con desempeños entre 0,74 a 0,50 se interpreta que sus significados han sido adquiridos parcialmente por los estudiantes. Un ítem con desempeño entre 0,49 a 0,25 sus significados han sido comprendidos en forma incipiente. Por último, un ítem con desempeños menores a 0,25, se interpreta que sus significados no han sido adquiridos aún por los estudiantes.

En la Figura 8.9 se presenta la distribución del número de ítems en cada rango de clasificación y en la Tabla 8.6 se presenta el detalle del resultado de la clasificación jerárquica de los ítems de contenidos.

Figura 8.9: Número de ítems de contenidos según rango de desempeño

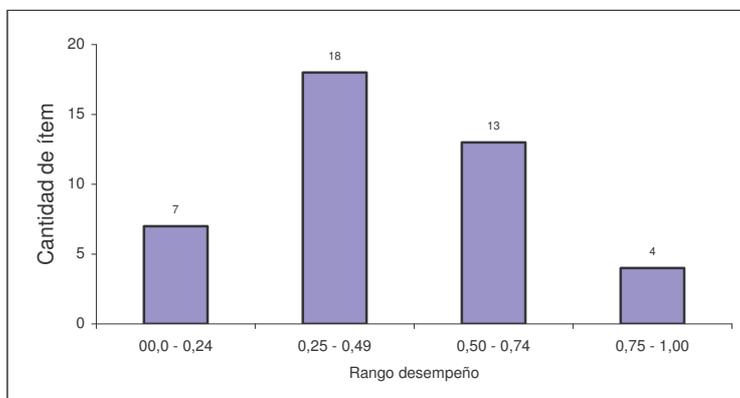


Tabla 8.6: Distribución de ítems de contenidos según rango de desempeño

Rango desempeño	Ítems de contenidos	Desempeño
1,00 – 0,75	T7. Líneas campo y propiedades de un conductor	0,85
	T21. Relación entre campo eléctrico y potencial	0,85
	T23. Determinación del potencial conocido el campo eléctrico	0,83
	T4. Fuerza, ley Coulomb y principio superposición	0,81
	T16. Flujo y ley de Gauss	0,70
	T34. Diferencias entre un campo eléctrico y magnético	0,70
	T17. Aplicación de ley de Gauss a un campo conocido	0,69
0,74 – 0,50	T1. Electroscopio y propiedades carga	0,65
	T2. Conservación de la carga	0,60
	T37. Interacción entre un dipolo y un campo magnético	0,59
	T15. Ley de Gauss y principio de superposición	0,55
	T28. Corriente, resistencia, campo eléctrico y potencia	0,55
	T35. Movimiento de protones en un ciclotrón	0,55
	T8. Interacción entre una carga puntual y una distribución	0,53
	T25. Capacidad y carga eléctrica	0,53
	T14. Propiedades electrostáticas de un conductor	0,50
	T27. Asociación de capacitores y carga	0,50
	T13. Movimiento de una partícula en un campo eléctrico uniforme	0,48
	T3. Carga y densidad de carga	0,45
	T11. Campo eléctrico de un dipolo	0,45
	T18. Flujo y aplicación de ley de Gauss a distribución cilíndrica	0,45
	T20. Representaciones simbólicas del potencial eléctrico	0,45
0,49 – 0,25	T22. Potencial de una carga puntual y de una distribución	0,44
	T31. Circuito RC y descarga de un capacitor	0,44
	T10. Campo eléctrico de una distribución continua	0,43
	T26. Capacidad y dieléctricos	0,43
	T5. Fuerza y movimiento de una carga en un campo eléctrico	0,40
	T9. Campo eléctrico de una distribución de cargas	0,38
	T19. Movimiento y conservación de energía carga en campo eléctrico	0,37
	T24. Determinación del potencial conocida la distribución carga	0,36
	T29. Resistencia, resistividad y ley de Ohm	0,36
	T42. Movimiento giratorio de una bobina en un campo magnético	0,30
	T30. Fem, circuitos y ley de Ohm	0,28
	T32. Circuito RC estacionario	0,28
0,24 – 0,00	T33. Trayectoria de una partícula en un campo magnético	0,25
	T38. Superposición de campos magnéticos de una bobina y terrestre	0,24
	T6. Carga, campo eléctrico y generador electrostático	0,20
	T12. Campo eléctrico en un conductor	0,20
	T41. Fem inducida de movimiento	0,18
	T36. Equilibrio de un conductor en campos magnético y gravitatorio	0,17
	T40. Campo magnético de una partícula en órbita circular	0,08
T39. Propiedades del flujo magnético	0,05	

En la Figura 8.9 se aprecia que de un total de 42 ítems de contenidos del campo conceptual del concepto de campo, solo cuatro ítems clasifican en el rango superior, por lo cual, los significados científicos que representan pueden considerarse como adquiridos

completamente por parte de los estudiantes. Seguidamente, 13 ítems clasifican en el rango inmediatamente inferior, y sus significados podrían estimarse como parcialmente adquiridos. Los 25 ítems restantes clasifican en los dos rangos inferiores, por lo tanto para estos conceptos la adquisición de significados es incipiente y casi nula.

Por otra parte, si se analizan los contenidos de Física, de los 17 primeros ítems, pertenecientes a los rangos superiores, que se relacionan con grados de adquisición de significados completa y parcial respectivamente, se observa que estos significados están asociados a los conceptos de carga y fuerza de interacción a distancia, descritas por la ley de Coulomb y el principio de superposición; campo eléctrico y sus propiedades tales como ley de Gauss, carácter conservativo del campo y potencial, propiedades de un conductor en equilibrio electrostático, capacidad y capacitores sin dieléctricos, y corriente. Además, en estos rangos, se observa un menor número de ítems asociados al concepto de campo magnético. Sólo se refieren a este concepto, la interacción entre un dipolo y un campo magnético y, el movimiento de protones en un ciclotrón.

Los 25 ítems de los dos rangos inferiores, que presentan bajos grados de adquisición de significados, corresponden a una diversidad de significados, asociados a los conceptos de campos eléctrico y magnético, carga y densidad de carga, capacidad y dieléctricos, corrientes y circuitos, otros. Sin embargo llama la atención que los 7 ítems que clasifican en el último rango, corresponden a significados asociados a campos electromagnéticos variables en el tiempo, ligados a la inducción electromagnética y sus aplicaciones.

8.2.3. GRADOS DE APRENDIZAJE Y COMPRENSIÓN DEL CAMPO CONCEPTUAL

Para caracterizar los significados de Física que subyacen a lo largo del proceso de conceptualización del campo conceptual del campo analizado en los cuatro estudios anteriores, y determinar los grados de aprendizaje y comprensión del campo conceptual del concepto de campo, se analizó el desempeño de cada estudiante en los ítems de contenido de Física de las pruebas de evaluación realizadas a lo largo del curso.

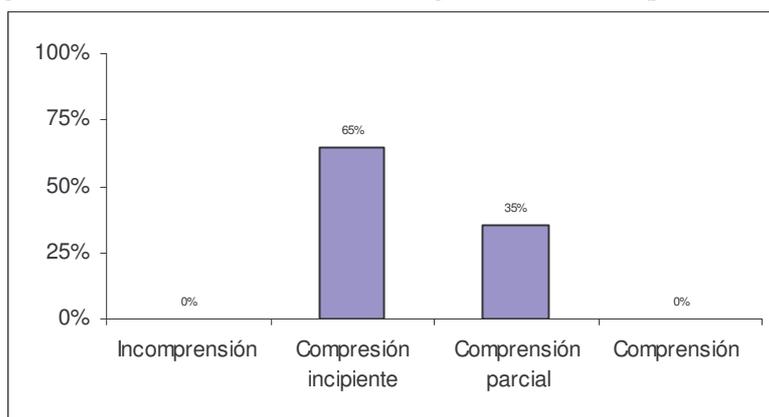
Para determinar el grado de comprensión global de significados del campo conceptual del concepto de campo, se analizó el desempeño global obtenido por cada estudiante en el conjunto de 42 ítems de contenidos. Luego, cada uno de los estudiantes fue asignado en uno

de los cuatro rangos de desempeño definidos en sección anterior. Para ello, se calculó el puntaje en el desempeño global obtenido por cada estudiante en el conjunto de 42 ítems. Luego, cada uno de los estudiantes fue asignado a uno de cuatro rangos, los cuales son interpretados como un indicador del grado de comprensión de significados alcanzada por los estudiantes.

Así, un estudiante con desempeño global en el rango 1,00 a 0,75, se interpreta con un grado de comprensión completa de significados. Un desempeño global entre 0,74 a 0,50 se interpreta que el grado de comprensión de significados es parcial. Un desempeño global entre 0,49 a 0,25 correspondería a un grado de comprensión de significados incipiente. Por último un desempeño global menor a 0,25, correspondería a una incomprensión de significados por parte de un estudiante.

En la Figura 8.10, se muestra la distribución de los estudiantes en cada uno de los grados de comprensión de significados y aprendizaje del campo conceptual.

Figura 8.10: Distribución estudiantes según niveles de comprensión



Se aprecia que según los desempeños globales obtenidos en los 42 ítems de contenidos, definidos a partir de las pruebas de evaluación del curso, la totalidad de los estudiantes presenta grados intermedios de comprensión de significados del campo conceptual. El mayor grado de comprensión alcanzado, corresponde a una comprensión parcial, logrado por un 35% de los estudiantes. El otro 65 % de los estudiantes, sólo alcanza una comprensión incipiente de significados de Física del campo conceptual del concepto de campo.

8.3. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO 5

Al término del curso de *Electricidad y Magnetismo*, ningún estudiante alcanza un nivel de comprensión completa de significados del campo conceptual del concepto de campo, de acuerdo a sus desempeños en el conjunto de ítems de contenidos de las pruebas de evaluación.

La mayoría de los estudiantes correspondiente al 65% alcanza grados de comprensión incipiente de los significados de los conceptos del campo conceptual. Sólo un 35 % de los estudiantes alcanza grados de comprensión parcial de significados. Este grupo de estudiantes se caracteriza por una comprensión limitada de significados del campo conceptual, que representa un acuerdo parcial con los significados científicos de los conceptos.

Al ordenar jerárquicamente los desempeños de los ítems de contenido, se comprueba y clarifica que un número reducido de contenidos presentan una comprensión adecuada de sus significados. Los contenidos mejor comprendidos se relacionan con el concepto de campo eléctrico, tales como espectros de líneas campo y propiedades de un conductor, y las relaciones entre campo eléctrico y potencial. No se evidencia una comprensión adecuada de contenidos asociados al campo magnético.

Los contenidos que presentan una comprensión parcial de significados incluye una cantidad de conceptos mucho más diversa. La mayoría de estos conceptos se relaciona con propiedades del concepto de campo eléctrico, tales como ley de Gauss y sus aplicaciones, las diferencias con el campo magnético, la relación con la corriente eléctrica, el cálculo del potencial y su relación con la capacidad. Por otra parte, la comprensión parcial de significados asociada al campo magnético se refiere a la interacción con un dipolo magnético, y el movimiento de una partícula cargada en un campo.

Cuando se comparan la comprensión de significados entre los conceptos de campo eléctrico, campo magnético y campos electromagnéticos variables en el tiempo, lo más llamativo es la mejor comprensión de significados asociados al concepto de campo eléctrico, llegando a ser completa en algunos significados. Sigue en menor grado la comprensión del campo magnético en la que encontramos significados parciales e incipientes y, finalmente, con casi nula comprensión de significados el concepto de campo electromagnético variable en el tiempo.

Al finalizar, es importante destacar que las pruebas de evaluación pueden aportar datos, e información para caracterizar los significados de Física adquiridos por los

estudiantes, que subyacen en el proceso de conceptualización y resultados del aprendizaje del campo conceptual del concepto de campo.

CAPÍTULO 9

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

Al término de la investigación de esta tesis, y a la luz de los resultados encontrados, se pueden apuntar algunas conclusiones generales de los vínculos entre la estructura del conocimiento del campo conceptual del concepto de campo y la estructura conceptual construida por los estudiantes, así como las características de las representaciones de los conceptos que poseen y que construyen, y algunos rasgos de la pauta de progresividad del proceso de conceptualización y aprendizaje de los significados científicos de este campo conceptual.

Estas conclusiones se limitan necesariamente a los estudiantes del curso de Electricidad y Magnetismo participantes en la investigación, y los aspectos de la conceptualización y contenidos de Física en los que se ha centrado la investigación, estando consciente que hay muchos otros aspectos relevantes que habría que seguir investigando.

Teniendo presente los objetivos planteados al inicio de la tesis, en términos generales podemos afirmar lo siguiente:

- Los estudiantes manifiestan una conceptualización diversa acerca de distintos aspectos relacionados con el campo conceptual del concepto de campo electromagnético, que evolucionan a lo largo del curso.
- Aparecen diferencias cualitativas evidentes de conceptualización que se expresan en distintos momentos del proceso de enseñanza/aprendizaje, que incluso se han revelado significativas desde el punto de vista estadístico. Esto permite verificar un progreso en la conceptualización del campo conceptual, que se relacionaría con el aprendizaje mediado por la enseñanza.
- La progresividad de la conceptualización del campo conceptual del concepto de campo, tiene una estrecha relación con el desarrollo de la estructura conceptual de los estudiantes, a partir del uso de los conceptos en las actividades del curso.
- Las características generales de la pauta de progresividad del proceso de conceptualización, confirman que la *Teoría de los campos conceptuales*, parece aplicarse adecuadamente a este ámbito de la investigación en educación en ciencias.

En la siguiente sección, se resumen y discuten los resultados más destacados de la investigación, intentando integrar los datos de los cinco estudios realizados. Luego, se hace referencia a algunas implicaciones prácticas que se derivan de los resultados obtenidos, así como a otros problemas, en los que sería interesante profundizar para completar y ampliar nuestro conocimiento sobre la conceptualización y adquisición de este campo conceptual de la Física.

9.1. PROGRESIÓN DEL PROCESO DE CONCEPTUALIZACIÓN

En términos generales, al final del curso, se constata el predominio de dos tipos de niveles de conceptualización. El *nivel de transición* entre un conocimiento y significación parcial del campo conceptual del concepto de campo, con aplicación de conceptos a situaciones y problemas, y el *nivel de conocimiento y explicación parcial de significados* del concepto sin aplicación a problemas. En cambio, al inicio del curso, no se observó el *nivel de transición*, ni tampoco niveles superiores. Los niveles dominantes iniciales fueron el *nivel de ausencia de invariantes* en los esquemas para comprender el concepto de campo, y el *nivel de conocimiento y explicación parcial de significados*.

Todo lo anterior, desde la visión de la *Teoría de los campos conceptuales*, que considera que, en el proceso de adquisición y conceptualización de un campo conceptual de Física, la materia enseñada y los conceptos no sólo deben ser definidos por la estructura construida por la disciplina, sino que se requiere considerar las situaciones donde los conceptos sean usados, junto con los sistemas de representación simbólica y de representación interna (esquemas) que los estudiantes utilizan para pensar y escribir acerca de ellos (Vergnaud, 1981).

Las características del proceso de conceptualización determinadas con esta investigación, se manifiestan en el desempeño de los estudiantes, en las diversas situaciones y contenidos de Física usados en cuatro estudios realizados a lo largo del curso. Estas características cognitivas se expresan de modo particular en los resultados del desempeño de cada estudio, aportando información necesaria para la construcción de conocimiento acerca del proceso de conceptualización y adquisición del campo conceptual de los estudiantes. Además, de facilitar la identificación de dificultades y elementos facilitadores para una conceptualización y un aprendizaje significativo del campo

conceptual del concepto de campo.

A continuación se presenta un resumen, discusión e integración de los resultados de los estudios realizados.

Al inicio del curso, los datos y resultados del primer estudio, muestran que la forma cómo los estudiantes enfrentan las situaciones y problemas, que involucran el uso de conceptos del campo conceptual del concepto de campo, refleja una conceptualización mínima y un conocimiento desestructurado de los conceptos de este campo conceptual.

Se observan diferencias notables, entre los desempeños de uso de los conceptos de álgebra vectorial y función, y de uso de los conceptos de campo escalar, campo vectorial, campo eléctrico y magnético. Estas diferencias se observan en todas las categorías de análisis de las representaciones (esquemas) usadas por los estudiantes en las situaciones y problemas, esto es, en las categorías de *clasificación*, *expresión escrita*, *operación*, *representación* y *resolución* definidas para esta investigación.

En las situaciones de categorización, los estudiantes usan mejor los conceptos de álgebra vectorial y función, que el concepto de campo, con desempeños de clasificación superiores a expresión escrita. Este comportamiento podría estar mostrando dificultades de los estudiantes para categorizar, cuya característica principal sería la baja explicitación de significados, por medio del lenguaje escrito, de los conocimientos-en-acción usados en sus acciones de clasificación. Además se observa que estas dificultades aumentan con la complejidad de los significados de los conceptos.

En las situaciones de resolución de problemas, analizadas con las categorías de representación, operación y resolución, los desempeños en álgebra vectorial y función, también son superiores a los desempeños en el concepto de campo en todas estas categorías. En las situaciones de aplicación de conceptos de álgebra vectorial y función, el desempeño en representación es superior a operación, y éste mayor al desempeño de resolución. En cambio, en las situaciones de aplicación del concepto de campo, los desempeños de estas mismas categorías, son inferiores y decrecen siguiendo una pauta diferente, con el desempeño más bajo en la categoría de representación. Esta característica del desempeño de los estudiantes en situaciones de resolución de problemas de álgebra vectorial y función, muestra una disponibilidad adecuada de representaciones simbólicas, y un buen uso de operaciones pertenecientes a estos conceptos, con un repertorio adecuado de conocimientos-en-acción para enfrentar un problema. En cambio, en el caso de situaciones de aplicación del concepto de campo, los conocimientos-en-acción de los

esquemas de estos mismos estudiantes serían insuficientes con una disponibilidad baja de representaciones simbólicas y mal uso de operaciones de este concepto.

El hecho que los desempeños de operación sean mayores que resolución, muestra un predominio en los esquemas de los estudiantes, de aspectos procedimentales al enfrentar las situaciones. Este predominio es más notorio en operaciones que demandan la realización de cálculos a partir de fórmulas y expresiones analíticas, donde los estudiantes tienen mejores desempeños que en operaciones más complejas del concepto de campo, como flujo y circulación. Esta característica es coherente con los valores bajos de desempeño observados en la categoría de resolución, que confirma la escasa disponibilidad conceptual de los estudiantes, para la resolución de problemas, que demandan la aplicación de propiedades, relaciones y transformaciones del concepto de campo.

Otro rasgo característico de la estructura conceptual de los estudiantes, al inicio del curso, es el mejor desempeño en el uso de representaciones simbólicas de tipo geométrico y pictóricas (flechas, gráficos, líneas de campo, otras), con respecto al desempeño en el uso de representaciones analíticas de tipo proposicional (componentes, ecuaciones, otras). Este rasgo se manifiesta en la categoría de operación, con valores de desempeños altos en los conceptos de álgebra vectorial y función, y desempeños más bajos en el concepto de campo. Respecto al uso de representaciones lingüísticas -expresión escrita- las expresiones utilizadas para argumentar clasificaciones, usando los conceptos de álgebra vectorial son mayores, que las expresiones usadas para explicar clasificaciones y argumentaciones usando el concepto de campo. Probablemente, este hecho, indique una baja disponibilidad y un uso limitado de instrumentos semióticos de representación simbólica de los estudiantes, para dar significado a sus acciones en las situaciones, que dificultaría la adquisición de conceptos de mayor complejidad y abstracción, como es el concepto de campo (Vergnaud, 1998).

Todos estos rasgos característicos de la conceptualización inicial del campo conceptual del concepto de campo, muestran que la mayoría de los estudiantes dan sentido a las situaciones, desde invariantes de los conceptos de álgebra vectorial y función, sin lograr acomodar aún en su estructura cognitiva estos invariantes a esquemas más generales, que representen el concepto de campo. Sólo una minoría acomoda sus esquemas a la representación del concepto de campo. Es decir, si bien, los estudiantes disponen de esquemas para resolver situaciones que requieren una aplicación de conceptos y operaciones de álgebra vectorial y función, su escasa aprehensión conceptual del concepto de campo, impide un mejor desempeño en este ámbito.

Los resultados de este primer estudio, coinciden con la descripción de la *Teoría de los campos conceptuales* para procesos de conceptualización de conceptos científicos. Esta señala que es frecuente encontrar que los estudiantes resuelvan problemas con soluciones satisfactorias, usando los invariantes (conocimientos-en-acción) que poseen, sin embargo, en situaciones diferentes, no llegan a enfrentar la solución del problema (Caballero, 2004). Esto debido a que sus conocimientos explícitos, no son científicos ni tampoco constituyen esquemas que puedan ser aplicados a toda clase de situaciones (Vergnaud, 1990). No obstante, estos conocimientos-en-acción de los esquemas pueden ser precursores en la adquisición de significados de los conceptos científicos a través de la enseñanza.

Efectivamente, 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 (Vergnaud, 1998). Esto se comprueba con los datos y resultados del segundo estudio, obtenidos a partir de la realización del Taller 1, diseñado con un doble propósito. Una acción de mediación de explicitación de significados del concepto de campo; y una acción de investigación para explorar avances de los estudiantes en el proceso de desarrollo conceptual después de un acto de mediación.

En general, los cambios observados en el desempeño de los estudiantes reflejan adquisición de nuevos significados, que evidencian progresividad en el dominio del campo conceptual. Estos avances en la conceptualización del concepto de campo, respecto del inicio del curso, se expresan en variaciones positivas y estadísticamente significativas del desempeño, en todas las categorías de análisis de las representaciones usadas por los estudiantes en las situaciones planteadas del Taller 1. Las mayores variaciones son en el subgrupo de las categorías de operación, representación y resolución, con una variación mayor en operación. En cambio, las variaciones menores son en el subgrupo de las categorías de clasificación y expresión escrita.

Este aumento global diferenciado del desempeño, entre estos dos subgrupos de categorías, podría ser un descriptor de los avances del proceso de conceptualización del concepto de campo. Así, el proceso de adquisición de significados del concepto campo, comenzaría con una acomodación de los esquemas de los estudiantes a representaciones del concepto de campo, caracterizado por un uso mayor de invariantes asociados a procedimientos de cálculo, acompañado de un uso menor de representaciones simbólicas y una explicitación mínima de significados, que se manifiesta en variaciones pequeñas de desempeño en la categoría de expresión escrita.

Por otra parte, en las situaciones de categorización, analizadas con las categorías de clasificación y expresión escrita, los estudiantes tienen un desempeño menor en la categoría de expresión escrita. Del mismo modo, en las situaciones analizadas con las categorías de representación y expresión escrita, el desempeño también es menor en expresión escrita. Este comportamiento podría tener como origen, dificultades de explicitación de los estudiantes, mediante el lenguaje escrito, de los conocimientos-en-acción adquiridos y usados al enfrentar este tipo de situaciones. Además, estas dificultades de explicitación aumentarían con la complejidad de los significados, lo cual se observa cuando se presenta a los estudiantes información mediante representaciones simbólicas (ecuaciones y pictóricas) del concepto de campo.

En las situaciones de resolución de problemas del concepto de campo vectorial, con información entregada mediante ecuaciones, se observa un mejor desempeño en la categoría de operación, seguido de resolución y representación. Este comportamiento muestra la permanencia de aspectos procedimentales en los esquemas al resolver un problema, sin interpretación de los cálculos realizados, y la presencia de dificultades para explicitar los significados de los resultados mediante representaciones simbólicas del concepto de campo.

Otro rasgo característico de los avances en el proceso de conceptualización de los estudiantes, es el mejor uso de representaciones simbólicas pictóricas del concepto de campo, respecto del uso de representaciones analíticas, en acciones de categorización de ejemplares de campo escalar y vectorial. En relación al uso de representaciones lingüísticas, se observa un mejor uso de -expresiones escritas- para explicar representaciones simbólicas del concepto de campo, que para justificar clasificaciones y explicar la comprensión de las situaciones.

Todos estos resultados, si bien, describen avances en el proceso de conceptualización del campo conceptual del concepto de campo, también sugieren la realización de otros estudios, que aporten nuevos conocimientos sobre la evolución del proceso de conceptualización y la progresividad del aprendizaje significativo de este campo conceptual.

Los resultados de este segundo estudio, mantienen coherencia con la caracterización de la *Teoría de los campos conceptuales*, observada también en el primer estudio, que los conceptos no se adquieren con un solo tipo de situaciones, y que la construcción y apropiación de todas las propiedades y atributos de un concepto, o de todos los aspectos de una situación es un proceso lento (Caballero, 2004). Esto porque no todos

los conocimientos-en-acción de los esquemas de los estudiantes, que éstos explicitan son científicos, ni constituyen esquemas de su estructura cognitiva que puedan ser aplicados a todas las situaciones.

Transcurrido un periodo de enseñanza/aprendizaje, correspondiente a dos unidades del Programa del Curso (Unidad 1: Carga y fuerza eléctrica; Unidad 2: Campo eléctrico), y realizada la Primera Prueba, la forma cómo los estudiantes enfrentan situaciones de uso de conceptos del campo conceptual del concepto de campo, experimenta nuevos cambios. Esto se constata con los datos y resultados del Taller 2, realizado como una investigación para explorar nuevamente posibles avances de los estudiantes en el proceso de conceptualización del campo conceptual, luego de un periodo de enseñanza/aprendizaje.

En general, los cambios observados en el desempeño evidencian adquisición de nuevos significados, que marcan una progresividad en el dominio del campo conceptual. Los resultados del Taller 2, muestran avances de conceptualización, que se expresan en variaciones positivas del desempeño, respecto del inicio del curso, en todo el grupo de categorías de análisis de las representaciones usadas por los estudiantes en las situaciones.

Sin embargo, respecto del Taller 1, se observan cambios de dos tipos. Variaciones positivas en el subgrupo de categorías de expresión escrita, representación y clasificación; y variaciones negativas en el subgrupo de categorías de operación y resolución. El mayor incremento positivo, es en la categoría expresión escrita, que a su vez, tiene la menor variación positiva en el Taller 1, respecto del inicio del curso. Además, en el Taller 2, el desempeño en la categoría de operación, tiene el mayor descenso, mientras que en Taller 1, tiene el mayor aumento. También, se observa que los mayores aumentos del desempeño en el Taller 2, son en el subgrupo de las categorías expresión escrita, resolución y clasificación, que tuvieron el menor aumento en el Taller 1.

Este aumento parcial del desempeño de los estudiantes, después de un mes de enseñanza/aprendizaje, podría aportar información necesaria para caracterizar un nuevo rasgo de la evolución del proceso de conceptualización y aprendizaje del concepto de campo. En forma preliminar, este comportamiento, podría estar mostrando una acomodación de esquemas con conocimientos-en-acción más próximos a los significados científicos del concepto de campo, con una mejor explicitación mediante representaciones escritas.

En situaciones de resolución de problemas, analizadas con las categorías de resolución, expresión escrita y clasificación, que pueden abordarse, ya sea, usando los conceptos de campo eléctrico o de acción a distancia, un número mayor de estudiantes usa

el concepto de acción a distancia. Sin embargo, en ambos conceptos, se observa un mismo patrón de comportamiento del desempeño. En orden descendente, el mayor desempeño es en resolución, seguido de expresión escrita y clasificación. Probablemente, este comportamiento sea un indicador de una asimilación parcial de estos conceptos, que se manifiesta en una explicitación limitada de significados científicos. Sin embargo, en expresión escrita y clasificación, los desempeños de los estudiantes son apreciablemente mayores cuando usan el concepto de campo eléctrico. Es decir, pareciera que los estudiantes usan mejor este concepto que el de acción a distancia.

En todas las situaciones de resolución de problemas de aplicación del concepto de campo eléctrico, el desempeño de los estudiantes en la categoría de resolución es mayor que en representación. Por otra parte, el desempeño de resolución es el de mayor avance en este periodo de enseñanza/aprendizaje. Probablemente, este comportamiento, estaría mostrando dificultades de los estudiantes para explicitar los conocimientos-en-acción de este concepto usados en la solución de problemas, por medio de representaciones simbólicas.

En general, si se integran los avances de conceptualización de este estudio y estudios anteriores, la evolución del proceso de conceptualización del campo conceptual del concepto de campo, transcurrido un periodo de enseñanza/aprendizaje, presentaría algunos rasgos característicos.

La conceptualización comenzaría con una acomodación de esquemas iniciales, donde predominan invariantes que se relacionan con procedimientos de cálculo, un bajo uso de representaciones simbólicas, y una explicitación limitada de significados científicos de los conceptos, que se expresa en pequeñas variaciones de desempeño en las categorías de clasificación y expresión escrita. Posteriormente, la conceptualización evolucionaría hacia una explicitación mayor de significados de los conceptos, que se expresaría en una tendencia al equilibrio de los valores del desempeño en todas las categorías de análisis de las representaciones.

Los resultados de este tercer estudio, mantienen una vez más, coherencia con aspectos del proceso de conceptualización descritos por la *Teoría de los campos conceptuales*, que identifica a los conocimientos previos como precursores de nuevos conocimientos, contenidos en los conocimientos-en-acción (largamente implícitos) que pueden evolucionar hacia conocimientos científicos cada vez más explícitos, a través de un dominio progresivo de situaciones, propuestas desde la enseñanza que media la acción de los estudiantes (Vergnaud, 1994).

Así, al final del curso, se observa que los estudiantes han avanzado en la forma de enfrentar situaciones y problemas que involucran conceptos del campo conceptual del concepto de campo, manifestando una conceptualización que corresponde al logro de un conocimiento intermedio, con una mejor estructuración de los conceptos y un dominio parcial del campo conceptual.

Estos rasgos característicos señalados, surgen de los datos y resultados obtenidos en el cuarto estudio realizado al final del curso. Estos resultados muestran una diferencia notable de los desempeños de uso de los conceptos de campo escalar, campo vectorial, campo eléctrico y magnético respecto de los desempeños observados al inicio del curso. La diferencia es en todas las categorías de análisis (clasificación, expresión escrita, operación, representación y resolución) de las representaciones usadas por los estudiantes al enfrentar situaciones y problemas.

Los resultados del desempeño de este estudio, se caracterizan por presentar diferencias cuantitativas entre tres grupos de conceptos: i) álgebra vectorial y función; ii) campo eléctrico y magnético; iii) campo escalar y vectorial. Se observa que los valores de desempeño del grupo de conceptos de álgebra vectorial y función, y del grupo campo eléctrico y magnético, son superiores a los desempeños del grupo campo escalar y vectorial, existiendo una brecha que sitúa al desempeño del grupo campo escalar y vectorial por debajo del desempeño de los dos grupos anteriores. Este resultado podría indicar, que si bien, los estudiantes, al final del curso, disponen de esquemas para enfrentar situaciones que requieren aplicación de los conceptos de álgebra vectorial, función, campo eléctrico y magnético, aún manifiestan una aprehensión conceptual parcial del campo conceptual del concepto de campo.

Esta conceptualización parcial del campo conceptual, no es excluyente con un progreso en el aprendizaje del campo conceptual, pues al comparar los desempeños del grupo de conceptos ligados al concepto de campo (campo eléctrico y magnético; campo escalar y vectorial) al inicio y final del curso, se tienen variaciones positivas significativas en todas las categorías de análisis.

En las situaciones de categorización, analizadas con las categorías de clasificación y expresión escrita, se observa que los estudiantes, categorizan mucho mejor que al inicio del curso, con un desempeño mayor en la categoría de expresión escrita. Este rasgo del desempeño es opuesto al observado al inicio del curso. Una interpretación posible de este resultado es, que después de un ciclo de enseñanza/aprendizaje, si bien se observa una progresividad demostrable empíricamente en la conceptualización y el aprendizaje del

campo conceptual, predominan aún algunos aspectos de aprendizaje mecánico o repetitivo (Ausubel, 2002) de los atributos de los conceptos.

En las situaciones analizadas con las categorías de expresión escrita, resolución y representación, donde las expresiones escritas representan explicaciones de operaciones del concepto de campo, o explicaciones de la solución de un problema, el desempeño en resolución es mayor al de expresión escrita, y éste último mayor al de representación. Este comportamiento estaría mostrando dificultades de explicitación de los conocimientos-en-acción de los esquemas de los estudiantes, para un grupo importante de conceptos y leyes Físicas del campo conceptual del concepto de campo, tales como flujo, ley de Gauss e inducción electromagnética. Además, de la permanencia de dificultades de comprensión y uso de las representaciones simbólicas asociadas a estos conceptos.

En las situaciones analizadas con las categorías de operación y representación los estudiantes tienen un desempeño mayor en operación, Además, se observa que el desempeño en operación decrece, conforme aumenta la complejidad de los significados físicos y matemáticos de las operaciones del concepto de campo.

Otro rasgo característico de la conceptualización de los estudiantes al final del curso, es la tendencia de los desempeños a igualarse en las categorías de clasificación, representación y resolución, independientemente de sus valores relativos. Este comportamiento se observa en tres tipos de situaciones: i) situaciones de clasificación y representación de ejemplares de representaciones simbólicas del concepto de campo; ii) situaciones de resolución de problemas y representación de sus soluciones; y iii) situaciones de resolución y categorización mediante ejemplares de un campo vectorial. Este rasgo podría estar mostrando que al final del curso, los desempeños en algunas categorías tienden a equilibrarse, lo cual podría interpretarse como un indicador de la adquisición de nuevos conocimientos-en-acción, con significados científicos del concepto de campo y sus representaciones simbólicas.

En general, si se integran todos los cambios en la conceptualización identificados a lo largo de todos los estudios realizados, la evolución de la conceptualización del campo conceptual del concepto de campo, desde el inicio del curso hasta su término, transcurrido un semestre de enseñanza/aprendizaje, se caracterizaría como un proceso de construcción de significados científicos con avances y retrocesos en la acomodación de esquemas. Donde al inicio del curso, predominan invariantes operatorios asociados a procedimientos de cálculo, con un muy bajo uso de representaciones simbólicas, y una explicitación limitada de significados científicos. Luego, a medida que avanza el proceso

enseñanza/aprendizaje, la conceptualización evoluciona hacia una mayor explicitación de los conocimientos-en-acción adquiridos y modificados, que se manifiestan en una tendencia sostenida al equilibrio de los valores del desempeño en todas las categorías de análisis.

Al término del curso, de acuerdo a los valores del desempeño en todas las categorías, se puede inferir que la mayoría de los estudiantes, dispone de un repertorio aún reducido de esquemas, con invariantes apropiados, pero insuficientes para interpretar las situaciones desde el concepto de campo, acorde con los objetivos del curso y del curriculum.

El desarrollo de esquemas alcanzado por los estudiantes, les permite acciones sobre las situaciones propuestas usando conceptos del campo conceptual, con explicaciones que reflejan organización, comprensión de significados, uso de operaciones y representaciones simbólicas de los conceptos, pero sin lograr aún conectarlas completamente. Además, es importante señalar que los estudiantes recurren y usan el concepto de campo, aunque no siempre con éxito en la resolución de un problema.

Otro rasgo característico, es la conceptualización alcanzada diferenciada por este grupo de estudiantes, Algunos estudiantes tienden primero a dar significado y sentido a las situaciones desde esquemas con invariantes de los conceptos de álgebra vectorial y función, sin lograr acomodar estos invariantes a esquemas más generales que representen el concepto de campo. Otros logran acomodar sus esquemas a una representación general del concepto de campo. En general pareciera que la mayoría sólo alcanza una acomodación a esquemas de representaciones particulares de los conceptos de campo eléctrico y magnético, en situaciones que dependen del contexto.

Los resultados obtenidos en este cuarto estudio, resaltan la potencialidad descriptiva y explicativa de la *Teoría de los campos conceptuales* de Vergnaud, para comprender la conceptualización y su influencia en el desarrollo cognitivo de los estudiantes, a partir de la caracterización de los vínculos entre la estructura cognitiva y la estructura de los conceptos construida por las disciplinas (Caballero, 2004).

Para alcanzar una comprensión completa de estos vínculos, se debe tener siempre presente que la materia enseñada y los conceptos, no sólo deben ser definidos por su estructura, sino que además se debe considerar las situaciones en las cuales son usados y los sistemas de representación que los estudiantes utilizan para pensar y escribir acerca de un concepto (Vergnaud, 1981).

En general los resultados de este estudio realizado al final del curso, validan la metodología diseñada, para investigar y caracterizar el proceso de conceptualización del campo conceptual del concepto de campo, en contextos de enseñanza y posibilitan la identificación de criterios para el diseño de propuestas de enseñanza de este campo conceptual de la Física.

9.2. NIVELES DE CONCEPTUALIZACIÓN EN EL CAMPO CONCEPTUAL

La existencia de distintos aspectos de la conceptualización, así como valores diferentes de desempeño en las categorías de análisis de las representaciones de los estudiantes, en los cuatro estudios realizados, no significa una ausencia de conexión, ni un conocimiento fragmentado de la conceptualización del campo conceptual del concepto de campo.

Los resultados obtenidos del análisis comparativo de los avances entre estudios, así como las relaciones estadísticamente significativas entre los desempeños en la categorías de análisis entre uno y otro estudio, nos lleva a concluir la evidencia de cambios amplios y significativos en la conceptualización de este campo conceptual, que tenderían a corresponderse con el avance del proceso de enseñanza/aprendizaje.

De acuerdo con esto, las diferencias del desempeño obtenido por cada estudiante en cada estudio se integran dentro de niveles de conceptualización, aportando cada uno de estos niveles peculiaridades de la conceptualización, que describen y representan grados de dominio alcanzado del campo conceptual. Se estimó que podrían distinguirse cinco niveles de conceptualización, ya descritos en los capítulos anteriores, que para facilitar su lectura se describen nuevamente a continuación. Cada uno definido por características cualitativamente distintas, estos niveles implican una estructura general para los distintos aspectos de conceptualización, que por otra parte se concretarían en determinados contenidos propios del campo conceptual, y estarían ligados a las categorías de análisis de las representaciones usadas por los estudiantes en sus acciones sobre las situaciones.

Como hemos visto en la discusión de los resultados a lo largo de los capítulos anteriores, determinados desempeños suponen un cambio significativo en los distintos aspectos y supondrían el paso de un nivel a otro. Por este motivo, recordemos que los niveles de conceptualización definidos son los siguientes:

Nivel 0: Ausencia de invariantes operatorios para comprender el concepto de campo: El estudiante no contesta o escribe respuestas irrelevantes, o no usa la palabra campo en sus explicaciones, o confunde el término campo estableciendo vínculos con un dominio o campo disciplinario ajeno a la Física.

Nivel 1: Reconocimiento de un campo sin explicación de significados científicos aceptables del concepto: El estudiante no manifiesta una conceptualización del concepto, sólo clasifica magnitudes, nominándolas con el concepto de campo, sin explicar sus comprensiones, ni usa operaciones y representaciones simbólicas que muestren comprensión científica del concepto.

Nivel 2: Reconocimiento de un campo y explicación parcial de significados científicos del concepto: El estudiante reconoce situaciones y clasifica magnitudes Físicas usando el concepto de campo con explicaciones que se refieren a aspectos parciales del concepto. Usa limitadamente algunas operaciones y representaciones simbólicas, sin vincularlas completamente con una representación u operación ligada al concepto. No se infiere claramente, una aplicación de conocimientos-en-acción del concepto en la resolución de un problema.

Nivel 3: Transición entre un reconocimiento y significación parcial del concepto de campo, con aplicación del concepto a situaciones y problemas: El estudiante reconoce situaciones y clasifica magnitudes usando el concepto de campo. Sus explicaciones reflejan organización y comprensión de significados, operaciones y representaciones simbólicas del concepto de campo, pero sin lograr conectarlas completamente. Usa el concepto de campo en la solución de un problema, con una explicitación limitada mediante representaciones simbólicas o expresiones escritas de los conocimientos- en- acción usados en la resolución.

Nivel 4: Aprehensión del concepto de campo para el nivel de instrucción: El estudiante manifiesta comprensión y explicitación de los conocimientos-en-acción del concepto para describir el comportamiento de una magnitud Física definida en cada punto de una región del espacio y del tiempo. Usa operaciones, representaciones simbólicas y propiedades del concepto de campo en situaciones y problemas.

Por otra parte, recordemos que desde la perspectiva de la *Teoría de los campos conceptuales*, la conceptualización tiene consecuencias en el desarrollo cognitivo, permite identificar y describir vínculos entre la estructura cognitiva construida por los estudiantes y la estructura de los conceptos, mediante la descripción de niveles de conceptualización (Caballero, 2004). Por este motivo el desempeño de cada estudiante en las situaciones de

los estudios realizados, se asignó a un nivel de conceptualización, que describiera y representara el grado de dominio alcanzado del campo conceptual del concepto de campo de acuerdo a la escala de cinco niveles de conceptualización descrita anteriormente. La asignación en cada nivel fue determinada por los valores del puntaje de conceptualización, determinado a partir del promedio de desempeño ponderado en las categorías de análisis de las representaciones usadas al enfrentar las situaciones de cada uno de los estudios realizados.

En términos generales, al inicio del curso, no se observaron los niveles de transición ni de aprehensión del concepto de campo. El 100% de los estudiantes se distribuye en los tres niveles de conceptualización más bajos. En tal caso, los niveles dominantes (90%) fueron, el Nivel 0 del tipo de ausencia de invariantes en los esquemas para comprender el concepto de campo, y el Nivel 1 del tipo de reconocimiento de un campo sin explicación de significados científicos aceptables del concepto. El nivel más alto alcanzado fue Nivel 2 de reconocimiento y explicación parcial de significados por un 10 % de los estudiantes.

Esta distribución del inicio del curso, es consistente con los bajos desempeños obtenidos en todas las categorías de análisis. Pareciera que el repertorio de esquemas disponibles para enfrentar situaciones del concepto de campo, no es comparable con los esquemas que subyacen a una conceptualización de los conceptos de álgebra vectorial y función. Esto se comprueba cuando se definen niveles de conceptualización para los conceptos de álgebra vectorial y función, del mismo modo que para el concepto de campo, obteniéndose una distribución opuesta de los estudiantes en estos niveles de conceptualización. En este caso, el 90% de los estudiantes se ubican en los dos niveles más altos de conceptualización, con un 40% en el Nivel 4 de aprehensión de estos conceptos, y 50% en el Nivel 3 de transición.

Después de un acto de mediación (Taller 1), realizado con el propósito de averiguar la existencia, o no existencia de avances en el proceso de conceptualización, se observa que en general, los grados de conceptualización del campo conceptual son significativamente mayores que al inicio del curso, con diferencias estadísticamente significativas entre los puntajes de conceptualización. Se producen pasos de un nivel a otro que se refleja en un cambio en la distribución de los estudiantes en los niveles de conceptualización.

Se aprecia que el 40% de los estudiantes alcanzan los Niveles 3 y 4 de correspondiente a los niveles superiores de la escala de conceptualización, los cuales no

fueron alcanzados al inicio del curso. Este resultado muestra que un grupo significativo de estudiantes alcanza el nivel de aprehensión de significados del concepto de campo, o el nivel de transición tratados hasta la realización del Taller 1. Además, un 25 % de los estudiantes alcanza el Nivel 2 de reconocimiento de un campo, con una explicitación parcial de significados científicos, y sólo un 35% de los estudiantes, se ubica en los Niveles 1 y 0 más bajos de conceptualización.

Este avance importante, implica que un 65% de los estudiantes abandonan los niveles más bajos de conceptualización, observados al inicio del curso. Este resultado es coherente, con un aumento del desempeño que se observa en todas las categorías de análisis. Por lo tanto, estos niveles mayores de conceptualización, se relacionarían con un desarrollo de esquemas, que se caracterizaría por un grado explicitación parcial de invariantes físicos del concepto de campo, con predominio de aspectos procedimentales asociados a invariantes de objetos matemáticos del concepto de campo.

Después de un periodo de enseñanza/aprendizaje, realizado el Taller 2, con el propósito de averiguar la existencia, o no existencia de nuevos avances en el proceso de conceptualización, se comprueba que el grado de conceptualización alcanzado en el Taller 2 es mayor al del Taller 1 e inicio del curso. Sin embargo estas diferencias, solo son estadísticamente significativas respecto del inicio del curso. Con respecto al Taller 1, se producen pasos de avance de un nivel a otro superior. Pero a la vez, se observan también pasos de retroceso a niveles inferiores, lo cual se expresa en fluctuaciones en la distribución de los estudiantes en los niveles de conceptualización.

El 45% de los estudiantes alcanza los Niveles superiores 3 y 4 de conceptualización, los cuales fueron alcanzados por un 40% de los estudiantes en el Taller 1. Este avance implica que el 20 % de los estudiantes alcanza un nivel de aprehensión de los significados del concepto de campo (en particular campo eléctrico) y un 25% alcanza un nivel de conceptualización de transición. Por otra parte, se observa un retroceso en la conceptualización, representado en un 40% de los estudiantes que se ubica en los Niveles 1 y 0 más bajos de conceptualización. Sin embargo, respecto el inicio del curso se aprecia que un 50% de los estudiantes abandonan estos niveles bajos de conceptualización.

En general, la distribución de los estudiantes en los niveles de conceptualización de los Talleres 1 y 2, tienen un orden de magnitud similar en los Niveles 3 y 4, lo mismo en los Niveles 0 y 1. Sin embargo, si se tiene en cuenta las diferencias entre los desempeños en las categorías de análisis de las representaciones usadas por los estudiantes en las situaciones, se pueden identificar algunas diferencias cualitativas, que ayudan a

comprender mejor la progresividad observada en el proceso de conceptualización del campo conceptual del concepto de campo. Estas diferencias en el grado de conceptualización de los estudiantes, son distinguibles cuantitativamente y estadísticamente significativas entre el Taller 2 e inicio del curso, y no distinguibles estadísticamente entre el Taller 2 y Taller 1.

Para entender mejor estas diferencias, conviene complementar la descripción del proceso de conceptualización, con una caracterización de los significados específicos de Física adquiridos por los estudiantes, que subyacen en el proceso de conceptualización investigado hasta la realización del Taller 2. Esta información, es aportada por los resultados del Estudio 5, obtenidos a partir de un análisis del desempeño de los estudiantes en las Pruebas de evaluación. Específicamente, interesan los resultados que se refieren a la Primera Prueba, debido a que el Taller 2 fue realizado en la clase siguiente a la prueba. Los contenidos de esta prueba se refieren a dos unidades del programa *Carga y fuerza eléctrica y Campo eléctrico*. De acuerdo con estos resultados, se constata que los estudiantes manifiestan grados de comprensión parcial y aceptable de significados científicos para un número reducido de conceptos involucrados en estos contenidos. Estos significados se refieren a propiedades de la carga, interacciones entre cargas descritas por la ley de Coulomb, principio de superposición, diagramas de líneas de campo y propiedades electrostáticas de un conductor, de los cuales, una minoría de significados corresponden al concepto de campo eléctrico, la mayoría de los significados adquiridos mejor comprendidos están más ligados al concepto de acción a distancia descrito por la ley de Coulomb.

En consecuencia la progresividad observada, tras un periodo de enseñanza/aprendizaje, en el proceso de conceptualización del campo conceptual del concepto de campo, con diferencias en el grado de conceptualización alcanzado por los estudiantes, distinguibles cuantitativamente y estadísticamente significativas entre el Taller 2 e inicio del curso, y no distinguibles estadísticamente entre el Taller 2 y Taller 1, muestran que la adquisición del campo conceptual del concepto de campo, no es un proceso de avance lineal, fácilmente identificable, sino complejo, con avances y retrocesos, continuidades y rupturas (Vergnaud, 1982; Moreira, 2004). Las diferencias encontradas se relacionan cualitativamente con la permanencia de significados en los conocimientos-en-acción de los esquemas de los estudiantes, más ligados al concepto de interacción a distancia que al concepto de campo.

Por otra parte, pareciera que otro factor que se agrega a la complejidad del proceso de avance de la conceptualización de este campo conceptual, es la diversidad y cantidad de significados de los contenidos de Física, que son enseñados a los estudiantes en periodos de tiempo relativamente cortos de enseñanza/aprendizaje, lo cual lleva a los estudiantes, a no asimilar los nuevos significados y ampliar su repertorio de esquemas, para enfrentar las situaciones y problemas planteadas desde la enseñanza. De este modo no dan significado a las situaciones desde los conceptos aprendidos, sino que sus acciones reflejan, más bien, un aprendizaje de tipo mecánico o memorístico (Ausubel, 1976, 2002).

Al final del curso, luego de cumplido un semestre de enseñanza/aprendizaje, se observa como es de esperar, que el grado de conceptualización del campo conceptual del concepto de campo es significativamente mayor que al inicio del curso. Se producen pasos importantes de avance de un nivel de conceptualización a otro superior. Este avance se corresponde con diferencias estadísticamente significativas, con los puntajes de conceptualización del inicio del curso, que es coherente con el incremento de los valores de desempeño en cada una de las categorías de análisis de las representaciones usadas por los estudiantes en las situaciones al final del curso. Sin embargo, ningún estudiante alcanza el nivel de conceptualización máximo, de aprehensión del concepto de campo para el nivel de instrucción fijado por los aprendizajes esperados expresados en el curriculum.

Se aprecia que al término del curso el 40% de los estudiantes alcanza como nivel más alto de conceptualización el Nivel 3 de transición hacia una aprehensión del campo conceptual. Otro 40 % de los estudiantes, alcanza el Nivel 2 de conceptualización, de reconocimiento de un campo, con una explicitación parcial de significados científicos del concepto. Además, un 20% de los estudiantes, se ubica en los Niveles 1 y 0 más bajos de conceptualización.

El hecho, que al término del curso, el 80% de los estudiantes se ubique en el segmento de Niveles 2 y 3, y ninguno en el Nivel 4 de conceptualización, pareciera sugerir que el repertorio de esquemas disponibles, para enfrentar situaciones del concepto de campo, no es comparable con el repertorio de esquemas que subyacen a una conceptualización de los conceptos de álgebra vectorial y función, y algunos aspectos de los conceptos de campo eléctrico y magnético.

Esta conceptualización diferenciada entre grupos de conceptos, que también fue observado al inicio del curso, pareciera, ser el rasgo más característico del Nivel 3 de transición, y que se acentúa más en el Nivel 2 de reconocimiento y explicación parcial de significados científicos del concepto. En general, al finalizar el curso, pareciera que la

mayoría de los estudiantes, sólo alcanza una acomodación a esquemas de representaciones específicas de los conceptos de campo eléctrico y magnético. Este rasgo es similar a lo observado al inicio del curso, donde se comprobó que la mayoría de los estudiantes daban significado y sentido a las situaciones desde esquemas con invariantes del álgebra vectorial y función, sin lograr acomodar completamente estos invariantes en esquemas más generales que representaran los significados iniciales del concepto de campo tratados con de la enseñanza.

Para entender mejor esta conceptualización diferenciada entre grupos de conceptos, es conveniente complementar estos rasgos de la conceptualización, con una caracterización de los significados de Física adquiridos por los estudiantes, que subyacen la conceptualización alcanzada al final del curso. Los resultados del Estudio 5, obtenidos a partir de una clasificación jerárquica del total de ítems de Física de las pruebas de evaluación, realizada de acuerdo al desempeño de los estudiantes en cada uno de los ítem, muestran que sólo un 40 % de los ítems, tienen desempeños atribuibles a grados de comprensión parcial y aceptable de significados científicos del campo conceptual.

Lo anterior, implica que al término del curso, ningún estudiante alcanza un nivel de comprensión adecuada de los significados del campo conceptual del concepto de campo tratados a lo largo del proceso de enseñanza/aprendizaje. La totalidad de los estudiantes alcanza el nivel comprensión parcial o el nivel de comprensión incipiente de los significados de los conceptos del campo conceptual. Se comprueba que los contenidos mejor comprendidos se refieren mayoritariamente con el concepto de campo eléctrico, tales como espectros de líneas campo, propiedades de un conductor, y las relaciones entre campo eléctrico y potencial. No se evidencia una comprensión adecuada de contenidos asociados al campo magnético. A su vez, los contenidos con una comprensión parcial de significados, incluye una cantidad de conceptos más diversa. La mayoría de estos conceptos se relaciona con propiedades del concepto de campo eléctrico, tales como ley de Gauss y sus aplicaciones, sus diferencias con el campo magnético, la relación con la corriente eléctrica, el cálculo del potencial y su relación con la capacidad. En relación con el concepto de campo magnético, la comprensión parcial de significados se refiere a la interacción de un dipolo con un campo magnético, y el movimiento de una partícula cargada en un campo.

Por otra parte, si se compara la comprensión de los conceptos de campo eléctrico, campo magnético y campos electromagnéticos variables en el tiempo, se observa que ésta es mucho mejor para los significados del concepto de campo eléctrico, sigue el campo

magnético con significados parciales e incipientes y, finalmente el concepto de campo electromagnético variable en el tiempo, con una comprensión casi nula de significados.

Por lo tanto, el hecho que al final del curso, se constate el predominio de dos tipos de niveles de conceptualización en el 80% de los estudiantes. El *nivel de transición* entre un conocimiento y significación parcial del campo conceptual del concepto de campo, con aplicación de conceptos a situaciones y problemas, y el *nivel de conocimiento y explicación parcial de significados* del concepto sin aplicación a problemas, es una consecuencia de la conceptualización diferenciada entre grupos de conceptos, donde la mayoría de los estudiantes alcanza una comprensión limitada de significados del campo conceptual, atribuible a un acuerdo parcial con los significados científicos de los conceptos tratados a lo largo del proceso de enseñanza/aprendizaje.

Todo lo anterior, parecieran ser los rasgos más característicos del Nivel de transición, y con mayor grado del Nivel de reconocimiento y explicación parcial de significados científicos del campo conceptual.

En consecuencia, los niveles de conceptualización alcanzados por la mayoría de los estudiantes al final del curso, se relacionan con un desarrollo de esquemas que se caracteriza por un grado de explicitación parcial de invariantes físicos del concepto de campo, con predominio de aspectos procedimentales asociados a invariantes de objetos matemáticos, que ponen de manifiesto la existencia de dificultades de comprensión y uso de representaciones simbólicas y lingüísticas que den significado y explicitación a los significados científicos del campo conceptual del concepto de campo.

Por otra parte, que al término del curso, la mayoría de los estudiantes, manifiesten una conceptualización parcial del campo conceptual, que se expresa en el uso y aplicación de una diversidad de conceptos, no excluye un progreso en el aprendizaje de este campo conceptual.

Los resultados obtenidos en cada uno de los estudios realizados en esta tesis, guardan coherencia con las características del proceso de adquisición de un campo conceptual descritas por la *Teoría de los campos conceptuales*, que describe que se trata de un proceso complejo de avance lento y no lineal (Vergnaud, 1982; Moreira, 2004). Efectivamente, la evolución de los desempeños a lo largo del curso, en todas las categorías de análisis de las representaciones usadas por los estudiantes (clasificación, expresión escrita, operación, representación, resolución) en las situaciones, para todo el grupo de conceptos ligados al concepto de campo (campo eléctrico y magnético; campo escalar y vectorial), presentó siempre una tendencia al equilibrio de los valores de desempeños en

todas las categorías, alcanzado al final del curso valores en torno de 0,50 que representan una concordancia parcial de acuerdo con los significados científicos de los conceptos involucrados en las situaciones.

Por otra parte, pareciera que la diversidad y cantidad de significados de los contenidos de Física, presentados a los estudiantes a lo largo del proceso de enseñanza/aprendizaje, no afecta favorablemente la asimilación de significados, ni amplía el repertorio de esquemas, para enfrentar las situaciones y problemas. Más bien, pareciera que esta diversidad planteada desde la enseñanza, impulsa a los estudiantes a enfrentar las situaciones sin modificar su repertorio de esquemas. De este modo su acción sobre las situaciones no contribuye a la adquisición de nuevos significados que enriquezcan su estructura conceptual con retención de los significados de los conceptos (Ausubel, 2002). Esto debido a que el modo de enfrentar las situaciones se estabiliza por una aplicación repetida de los mismos conocimientos-en-acción contenidos en sus esquemas.

En general, todos los resultados de los estudios realizados en esta tesis, validan el diseño y aplicación de una metodología basada en la *Teoría de los campos conceptuales*, para el estudio de los vínculos entre la estructura del conocimiento del campo conceptual del concepto de campo en Física y la estructura conceptual construida por los estudiantes, a partir del uso de conceptos del campo conceptual en situaciones planteadas durante un curso universitario de electromagnetismo. A la vez, describir el avance el proceso de conceptualización del campo conceptual del concepto de campo, en contextos de enseñanza.

9.3. CONCLUSIONES

En esta tesis se ha realizado una investigación amplia sobre el diseño y aplicación de una metodología basada en la *Teoría de campos conceptuales* de Vergnaud, para el estudio de vínculos entre la estructura conceptual construida por los estudiantes y la estructura del conocimiento del campo conceptual del concepto de campo en Física, a partir del uso de conceptos del campo conceptual en *situaciones* planteadas durante un curso universitario de electromagnetismo. La metodología diseñada está orientada a la determinación y análisis de las representaciones de los conceptos del campo conceptual del concepto de campo, que poseen y construyen los estudiantes, por interacción entre su

estructura conceptual y la información de las situaciones, en diferentes momentos del proceso enseñanza/aprendizaje.

Se han diseñado y validado instrumentos para la obtención de datos, que permiten caracterizar las representaciones de los conceptos usados por los estudiantes, específicamente los asociados al campo electromagnético. La aplicación de la metodología a lo largo del desarrollo del curso, ha permitido tanto la determinación de rasgos de las representaciones del campo conceptual del concepto de campo, como el análisis del proceso de conceptualización de los estudiantes. Su aplicación ha sido fructífera para la determinación de niveles de conceptualización y la descripción de la pauta de progresividad de la conceptualización y del aprendizaje.

Los resultados obtenidos en los estudios contribuyen a la identificación de elementos facilitadores y obstaculizadores para la comprensión y adquisición del campo conceptual del concepto de campo presente en los esquemas construidos por los estudiantes. Lo anterior posibilita la definición de criterios para la elaboración de diseños de enseñanza que faciliten la adquisición y dominio del campo conceptual del concepto de campo de acuerdo a las demandas del currículum.

A continuación se especifican las principales conclusiones de esta tesis.

- Se ha diseñado y aplicado una metodología basada en la *Teoría de campos conceptuales*, para el estudio de vínculos entre la estructura conceptual construida por los estudiantes, y la estructura del conocimiento del concepto de campo construida de campo en Física.
- Se han diseñado y validado instrumentos para la obtención de datos, que permitan la caracterización de las representaciones (esquemas) de los conceptos usados por los estudiantes al enfrentar y resolver situaciones que dan sentido al concepto de campo.
- Se han realizado a lo largo del desarrollo de un curso de electromagnetismo de universidad, cinco estudios para la identificación y caracterización de las representaciones del campo conceptual del concepto de campo construidos por estudiantes y el análisis del proceso de conceptualización
- Los resultados obtenidos de los estudios, han permitido caracterizar y describir la pauta progresividad del proceso de conceptualización y aprendizaje del campo conceptual del concepto de campo seguida por los estudiantes.
- Los rasgos característicos de la conceptualización inicial, mostraron que la mayoría

de los estudiantes dan sentido a las situaciones, desde esquemas de los conceptos de álgebra vectorial y función, sin lograr acomodar a esquemas que representen el concepto de campo.

- La evolución de la conceptualización a lo largo del semestre de enseñanza/aprendizaje, corresponde a un proceso de construcción de significados científicos del campo conceptual, con avances y retrocesos en la acomodación de esquemas. Al inicio, predominan invariantes operatorios asociados a procedimientos de cálculo, con un muy bajo uso de representaciones simbólicas, y una explicitación limitada de significados científicos.
- Con el avance del proceso enseñanza/aprendizaje, la conceptualización evoluciona hacia una mayor explicitación de conocimientos-en-acción de los esquemas asimilados y modificados, que se manifiesta en una tendencia sostenida al equilibrio del desempeño en sus acciones sobre las situaciones.
- Al término del curso, la mayoría de los estudiantes, dispone de un repertorio aún reducido de esquemas, con invariantes operatorios apropiados pero insuficientes para enfrentar un espectro amplio de situaciones del concepto de campo, acorde con los objetivos del curso y del curriculum.
- El desarrollo de esquemas alcanzado por los estudiantes, les permite usar conceptos del campo conceptual en sus acciones sobre las situaciones propuestas, con explicaciones que reflejan una organización, comprensión de significados, uso de operaciones y representaciones simbólicas de los conceptos, sin lograr aún conectarlas completamente.
- Si bien, los estudiantes, al final del curso, disponen de esquemas apropiados para enfrentar situaciones que requieren la aplicación de conceptos de álgebra vectorial, función, campo eléctrico y magnético, aún manifiestan una aprehensión conceptual parcial del campo conceptual del concepto de campo.
- Al final del curso, predominan dos tipos de niveles de conceptualización. El *nivel de transición* entre un conocimiento y significación parcial del campo conceptual del concepto de campo, con aplicación de conceptos a situaciones y problemas, y el *nivel de conocimiento y explicación parcial* de significados del concepto sin aplicación a problemas.
- Los significados de contenidos de Física que subyacen la conceptualización alcanzada, con una *comprensión adecuada* de significados están asociados

preferentemente al concepto de campo eléctrico. No se evidencia una comprensión adecuada de significados asociados al campo magnético.

- Los significados de contenidos de Física que subyacen la conceptualización alcanzada con una *comprensión parcial* de significados, incluye una cantidad de conceptos más diversa que se relaciona en mayor grado con propiedades del concepto de campo eléctrico, le sigue en menor grado significados asociados al concepto de campo magnético.
- La comprensión de significados asociados al concepto de campo electromagnético variable en el tiempo es mínima.
- Las diferencias cualitativas de los niveles de conceptualización descritos en distintos momentos del proceso de enseñanza/aprendizaje, verifican un progreso en la conceptualización del campo conceptual, que se relacionaría con el aprendizaje mediado por la enseñanza.
- Las características generales de la pauta de progresividad del proceso de conceptualización, confirman que la *Teoría de los campos conceptuales*, parece aplicarse adecuadamente a este ámbito de la investigación en educación en ciencias.

9.4. IMPLICACIONES PRÁCTICAS DE LOS RESULTADOS

Entre las implicaciones *didácticas y para la investigación* en educación en ciencias, distintos autores han señalado la importancia de realizar estudios de los procesos cognitivos que conducen a un aprendizaje significativo de conceptos científicos y en particular los conceptos de la Física, para seleccionar objetivos y contenidos y establecer secuencias de aprendizaje que favorezcan al máximo la asimilación de los contenidos y el desarrollo conceptual (Moreira, 1998; Pozo y Gómez Crespo, 1998, Caballero, 2004).

Además desde los enfoques de la *Teoría de los campos conceptuales* de Vergnaud, y aportes complementarios de las teorías de Piaget, Vygotsky y Ausubel, que han sido los principales referentes teóricos, que guiaron los estudios realizados en esta tesis, el conocer las características del conocimiento previo y del desarrollo conceptual es una condición necesaria para un aprendizaje significativo de conceptos científicos. Esto porque permite determinar las disposiciones de aprendizaje de los estudiantes, antes de diseñar las experiencias de aprendizaje para acceder a un conocimiento de la Física distinto al de su

saber cotidiano. Además, porque también es importante conocer el grado de comprensión de los estudiantes del lenguaje de la Física, para saber previamente si pueden comunicar y explicar fenómenos usando este lenguaje, debido a que en muchas ocasiones los estudiantes no comprenden los significados y estructuras simbólicas contenidas en el lenguaje de la Física, lo cual obstaculiza necesariamente el logro de aprendizajes significativos (Vergnaud, 1998).

En la perspectiva señalada anteriormente, los resultados de esta tesis aportan conocimientos importantes para definir criterios que oriente y guíen el diseño de propuestas de enseñanza del concepto campo en Física. En primer lugar, aporta una metodología y resultados empíricos basada en la *Teoría de campos conceptuales* para caracterizar el grado de conocimiento y niveles de conceptualización iniciales de los estudiantes del campo conceptual del concepto de campo, y dar cuenta en forma sistematizada del punto de desarrollo conceptual en que se encuentran los estudiantes al inicio del proceso de aprendizaje. Es decir, en términos de la teoría de Vygotsky y visión de la enseñanza de la *Teoría de campos conceptuales*, la determinación y caracterización de los niveles de conceptualización iniciales permite establecer la *zona de desarrollo real* (ZDR), o el punto de inicio para un proceso de enseñanza en la *zona de desarrollo próximo* ZDP (Vygotsky, 1979), que posibilite avanzar a los estudiantes hacia el logro de los aprendizajes esperados, definidos por los objetivos del curriculum, que a su vez, determinan el límite superior de la ZDP.

En segundo lugar, los resultados de esta tesis, aportan también conocimientos para definir criterios para el diseño y evaluación de propuestas de enseñanza que faciliten la adquisición del campo conceptual del concepto de campo en un contexto de enseñanza en la universidad. Esto porque tanto al momento del inicio, como durante el proceso de enseñanza, un profesor podría organizar y diseñar la enseñanza, considerando dos elementos o dimensiones de diferenciación que le ayudan a operacionalizar la ZDP. Una dimensión horizontal definida por las disposiciones de aprendizaje iniciales y los objetivos del curriculum, y otra dimensión vertical definida por los niveles de conceptualización. De esta manera el aprendizaje de los estudiantes mediado por la enseñanza en la ZDP, avanzaría con la adquisición de nuevos significados del campo conceptual, a través de su participación en situaciones y problemas mediadas por el profesor, cada vez más complejas, hasta alcanzar estados de desarrollo conceptual de acuerdo a sus desempeños en las situaciones y problemas y acorde con los objetivos del curriculum.

Así, cuando al inicio de un curso, se realice un diagnóstico de disposiciones de aprendizaje para los conceptos del campo conceptual del concepto de campo, aplicando la metodología desarrollada en esta tesis, el resultado a obtener sería un cuadro de niveles de conceptualización, que identifican y caracterizan disposiciones de aprendizaje diferentes y que agrupa a los estudiantes de acuerdo a niveles de conceptualización. Por otra parte, estos diferentes grupos de estudiantes tienen que alcanzar una meta común de aprendizaje. Al mismo tiempo, los niveles de conceptualización identificados definen una distribución de estados de desarrollo conceptual diferentes para los distintos grupos de estudiantes. Con esta información un profesor podría diseñar y seleccionar las actividades y estrategias didácticas coherentes con la ZDP de cada grupo de estudiantes que mejor faciliten el aprendizaje.

En consecuencia, la determinación y evolución de los niveles de conceptualización del campo conceptual del concepto aportan información necesaria para la definición y avance de la enseñanza de la ZDP, que contribuye a la complejización progresiva de las situaciones y problemas de enseñanza, en la medida las disposiciones de aprendizaje de los estudiantes se hacen más elaboradas, por una acomodación mayor de los conocimientos-en-acción de los estudiantes en esquemas del concepto de campo.

Esto porque desde la perspectiva de la *Teoría de campos conceptuales*, los estudiantes requieren diversas situaciones, problemas, clases de conceptos, representaciones simbólicas, operaciones de pensamiento y procedimientos que se conectan entre sí durante su aprendizaje (Vergnaud, 1981; 1990). Así el papel de la enseñanza que es fundamental, podría orientarse hacia el logro de aprendizajes significativos, pues es a través de ésta, se establece una interacción entre los esquemas de los estudiantes y los campos conceptuales de la física descritos científicamente.

Las implicaciones para futuras investigaciones que surgen de los resultados de esta tesis, apuntan a la aplicación y validación de esta metodología, guiada por la *teoría de campos conceptuales* de Vergnaud, a otros campos conceptuales de la Física y de las ciencias, para mejorar la caracterización de las representaciones largamente implícitas de los estudiantes, y la pauta de progresividad del proceso de conceptualización. Además, la realización de un análisis y revisión crítica de los instrumentos utilizado; y el diseño y aplicación de otro tipo de instrumentos tales como, entrevistas sobre situaciones y ejemplos; entrevistas sobre tareas para demostrar, observar y explicar situaciones; cuestionarios de respuesta cerrada y abiertas. Lo anterior permitiría abordar nuevos estudios, tales como, investigar si existen diferencias entre las representaciones de los

conceptos de un mismo campo conceptual construidas por grupos de estudiantes con distintos niveles de instrucción, o estudiar si las representaciones que se identifican dificultan o impiden la comprensión de los conceptos.

En resumen, las implicancias de esta investigación apuntan a la realización de estudios que aporten nuevos conocimientos sobre el proceso de adquisición y dominio de campos conceptuales en el aprendizaje de conceptos científicos, cuyos resultados puedan servir de fundamento y guía en la elaboración de estrategias enseñanza para un aprendizaje significativo progresivo de la Física.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, M. (1998). *¿Somos muy conservadores en la enseñanza de la física?* Gran Canaria: Ediciones Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Arancibia, V.; Herrera, P. y Strasser, K. (1997). *Manual de psicología educativa*. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Ausubel, D. (1976). *Psicología educativa. Un punto de vista cognitivo*. México: Trillas Alianza, 1997.
- Ausubel, D. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Barcelona: Paidós.
- Benson, H. (1995), *Física universitaria*. México: CECSA.
- Berkson, W. (1981). *Las teorías de los campos de fuerza desde Faraday hasta Einstein*. Madrid: Alianza.
- Bisquerra, R. (1989). *Métodos de investigación*. Barcelona: Ceac.
- Borges, A. y Gilbert, J. (1998). Models of magnetism. *International Journal of Science Education*, 20 (3), 361-378 p.p.
- Caballero, C. (2004). La progresividad del aprendizaje significativo de conceptos. En M. A. Moreira; C. Caballero y M. Rodríguez. (Eds.), *Aprendizaje significativo: Interacción personal, progresividad y lenguaje* (49-66 p.p.). Burgos: Universidad de Burgos.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: enrichment or conceptual change. En E. Margolis and S. Laurence (Eds), *Concepts. Core readings*. Cambridge (459-487 p.p.). MA: MIT Press.
- Delval, J. (1997). Tesis sobre el constructivismo. En M. Rodrigo y J. Arnay, (Eds). *La construcción del conocimiento escolar*. Barcelona: Paidós.
- Di Sessa, A. y Sherin, B. (1998). *What changes in conceptual change?* *International Journal of Science Education*, 20 (10); 1155-1191 p.p.
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien. A. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press. Trad. Cast de P. Manzano: *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. Madrid: Morata /MEC, 1989.
- Einstein, A. (1995). *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*. Madrid: Alianza.
- Feynman, R. (1985). *Electrodinámica cuántica*. Madrid: Alianza.

-
- Fodor, J. (1998). *Concepts. Where cognitive science went wrong*. New York: Oxford University Press.
- Furió, C. y Guisasola, J. (1998a). Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (1), 131-146 p.p.
- Furió, C. y Guisasola, J. (1998b). Difficulties in learning the concept of electric field, *Science Education*, 82, 511-526 p.p.
- Furió, C. y Guisasola, J., (2001). La enseñanza del concepto de campo eléctrico basado en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 319-334 p.p.
- Furió, C. (2001). La enseñanza–aprendizaje de las ciencias como investigación: Un modelo emergente. En J. Guisasola, J. y L. Pérez de Eulate González (Eds.) *Investigaciones en didáctica de las ciencias experimentales basadas en el modelo enseñanza-aprendizaje como investigación orientada* (15-42 p.p.). Bilbao: Universidad del País Vasco.
- Galili, I. (1995). Mechanics background influences student' conceptions in electromagnetism. *International Journal of Science Education*, 17 (3), 371-387 p.p.
- Gelman, S.; Markman (1986). Categories and induction in young children. *Cognition*, 23, 183-209 p.p.
- Gelman, S. (1988). Children's expectation concerning natural kind categories. *Human Development*, 38, 213-244 p.p.
- Gelman, S., Coley, J. y Gottfried, G. (1994). Essentialist beliefs in children: the acquisition of concepts and theories. En L. Hirschfeld and S. Gelman (Ed.), *Mapping the mind* (341-365 p.p.). New York: Cambridge University Press.
- Gentner, D. y Landers, R. (1985). Analogical reminding: A good match is hard to find. *Proceedings of the International Conference on Cybernetics and Society*, 607-613 p.p.
- Gil, D. y Carrascosa, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7 (3), 231-236 p.p.
- Gil, D. (1993). Contribución de la Historia y Filosofía de las ciencias al desarrollo de un método de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-212 p.p.
- Gopnik, A. (1988). Conceptual and semantic development as theory change. *Mind and Language*, 3, 197-216 p.p.
- Gopnik, A. (1996). The scientist as a child. *Philosophy of science*, 63, 485-514 p.p.

-
- Greca, I. y Moreira, M. (1997). The kinds of mental representation - models, propositions and images- used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19 (6), 711-724 p.p.
- Greca, I. y Moreira, M. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 289-303 p.p.
- Greca, I. y Moreira, M. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22 (1), 1-11 p.p.
- Greca, I. y Moreira, M. (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora, *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (1), 25-53 p.p.
- Greca, I. (2003). Conceptos: Naturaleza y adquisición. En Moreira, M. A y C. Caballero, (Eds.), *Actas del PIDEC, Programa internacional de doctorado en enseñanza de las ciencias de la Universidad de Burgos* (5) (3-78 p.p.). Porto Alegre: UFRGS.
- Guisasola, J. (2001). Análisis crítico de la enseñanza de la electrostática en el Bachillerato y propuesta alternativa de orientación constructivista. En J. Guisasola y L. Pérez de Eulate González (Eds.), *Investigaciones en didáctica de las ciencias experimentales basadas en el modelo enseñanza-aprendizaje como investigación orientada* (43-109 p.p.) Bilbao: Universidad del País Vasco.
- Gunstone, R. (1994). Metacognition and the importance of specific science content. En P. Fensham, R. Gunstone and R. White (Eds). *The content of science* (131-146 p.p.). London: Falmer Press.
- Harman, P. (1990). *Energía, fuerza y materia. El desarrollo conceptual de la física del siglo XIX*. Madrid: Alianza Universidad.
- Hampton, J. (1997). Psychological representation of concepts. En M. Conway (Ed), *Cognitive models of memory* (81-109 p.p.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Jackendoff, R. (1985). "Multiple subcategorization and θ Criterion: the case of Climb". *Natural language and linguistic theory*, 3, 271-295 p.p.
- Jackendoff, R. (1987). *Consciousness and the computational mind*. Cambridge, MA: MIT Press / A Bradford Book.
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental Models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Keil, F. (1981). Constraints on knowledge and cognitive development, *Psychological review*. 88 (3), 197-227 p.p. (reprinted in Osherson, 1986).
- Keil, F. (1989). *Concepts, kinds and cognitive development*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kuhn, T. (1994) *La estructura de las revoluciones científicas*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.

-
- Lakoff, G. (1987). *Women, Fire and dangerous things: What category tell us about the nature of thought*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lakoff, G. (1999). Cognitive models and prototype theory. In E. Margolis and S. Laurence (Eds.) *Concepts. Core readings* (391-421 p.p.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Laurence, S. y Margolis, E. (1999). Concepts and cognitive science. En E. Margolis and S. Laurence (Eds.), *Concepts. Core readings* (3-80 p.p.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Landau, L. y Lifshitz, E. (1992). *Teoría clásica de los campos*. Barcelona: Reverté.
- Llancaqueo, A. (2003). El concepto de campo en el aprendizaje de la Física: un estudio exploratorio a la luz de la Teoría de Vergnaud. *Proyecto de Investigación presentado para obtener el Diploma de Estudios Avanzados en el Programa de Doctorado Internacional Enseñanza de las Ciencias de la Universidad de Burgos, España*.
- Llancaqueo, A.; Caballero, C. y Moreira, M. (2003a). El concepto de campo en el aprendizaje de la física y en la investigación en educación en ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2 (3), Artículo 3. En <http://www.saum.uvigo.es/reec> .
- Llancaqueo, A.; Caballero, C. y Moreira, M. (2003b). El aprendizaje del concepto de campo en física: una investigación exploratoria a la luz de la teoría de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25 (4), 399-417 p.p.
- Malt, B. (1994). Water is not H₂O. *Cognitive Psychologic*. 27, 41-70 p.p.
- Markman, E. (1987). How children constrain the possible meanings of the words. En U. Neisser (Ed.) *Concepts and conceptual development: ecological and intellectual factors in categorization* (256-287 p.p.). New York: Cambridge University Press.
- Marín, N. (1999). Delimitando el campo de aplicación del cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), 80-92 p.p.
- Martín, J. y Solbes, J. (2001). Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en física. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (3), 393-403 p.p.
- Mateos, M. (2001). *Metacognición y educación*. Buenos Aires: Aiqué.
- Mcshane, J. (1991). *Cognitive development: an information processing approach*. Cambridge MA: Basil Blackwell.
- Medin, D., (1998). Concepts and conceptual structure. En P. Thagard (Ed) *Mind reading*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Medin, D. y Smith, E. (1984). Concepts and concepts formation. *Annual Review of Psychology*, 35, 158-190 p.p.

-
- Medin, D. y Shoben E. (1988). Context and structure in conceptual combinations. *Cognitive Psychology*, 20, 158-190 p.p.
- Medin, D. y Ortony, A. (1989). Psychological essentialism. En S. Vosniadou y A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (179-195 p.p.). New York: Cambridge University Press.
- Mervis, C. y Rosch, E. (1981). Categorization of natural objects. *Annual Review of Psychology*. 32, 89-115 p.p.
- Ministerio de Educación, República de Chile (2005). Objetivos fundamentales y contenidos mínimos obligatorios de la educación media. Santiago de Chile: MINEDUC.
- Monereo, C. (1990). Las estrategias de aprendizaje en el la educación formal: enseñar a pensar y sobre el pensar. *Infancia y Aprendizaje*, 10, 3-25 p.p.
- Monereo, C. y Castelló, M.(1997). *Estrategias de enseñanza y aprendizaje: formación del profesorado y aplicación en la escuela*. Barcelona: Grao.
- Moreira, M. (1994). Cambio conceptual: crítica a modelos y una propuesta a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. En: *Science & Mathematics Education for the 21st. Century: Towards innovatory approaches* (pp. 81-92). Concepción, Chile: Actas.
- Moreira, M. (1998). La investigación en educación en ciencias y la formación permanente del profesor de ciencias. *Conferencia presentada en Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*. La Serena, Chile.
- Moreira, M. (2000). *Aprendizaje significativo: teoría y práctica*. Madrid: Visor.
- Moreira, M. (2002). A Teoría dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área, *Investigações em Ensino de Ciências*. 7 (1), 1-24 p.p.
- Murphy, G. y Medin, D. (1985). The role of theories in conceptual coherence. *Psychological Review*, 92, 289-316 p.p.
- Neto, A. (1998). *Resolução de problemas em Física*. Instituto de inovação educacional. Portugal.
- Palmer, D. (2002). Students' alternative conceptions and scientifically acceptable conceptions about gravity. *International Journal of Science Education*, 23 (7), 691-706 p.p.
- Pauli, W. (1996). *Escritos sobre física y filosofía*. Madrid: Debate.
- Piaget, J. (1936). *El nacimiento de la inteligencia en el niño*. Madrid: Aguilar, 1972.
- Piaget, J. (1971). "Los estadios del desarrollo intelectual del niño y adolescente". En P. Osterrieth (Ed.), *Los estadios en la psicología del niño*. Buenos Aires: Nueva visión.

-
- Piaget, J. (1978). *La equilibración de las estructuras cognitivas. Problema central del desarrollo*. Madrid: Siglo XXI de España.
- Pozo, J.; Pérez, M.; Sanz, A. y Limón, M. (1992). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*, 57, 3-32 p.p.
- Pozo, J. (1996); La psicología cognitiva y la educación científica, *Investigações em Ensino de Ciências*. 1 (2), 1-25 p.p.
- Pozo, J. y Gómez Crespo, M. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- Pozo, J. (1999). Más allá del cambio conceptual: El aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), 513- 520 p.p.
- Pozo, J. y Rodrigo, M. (2001). Del cambio de contenido al cambio representacional en el conocimiento conceptual, *Infancia y Aprendizaje*, 24 (4), 407-423 p.p.
- Pozo, J. (2002). La adquisición del conocimiento científico como un proceso de cambio representacional, *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (3), 1-30 p.p.
- Rivière, A. (1994). *La psicología de Vygostky*. Madrid: Antonio Machado Libros, 2002.
- Rodríguez, M. (1999). *Conocimiento previo y cambio conceptual*, Buenos Aires : Aique.
- Thagard, P. (1990). Information and concepts. In P. Hanson (Ed), *Information, language and cognition* (pp. 168-174). Vancouver: University of British Columbia Press.
- Tipler, P. (2001). *Física para la ciencia y tecnología*. Barcelona. Reverté.
- Serway, R. y Beichner, R. (2000). *Física para ciencias e ingeniería*. México: McGrawHill.
- Slater, J. y Frank, N. (1947). *Electromagnetism*, New York: Mc Graw-Hill Company, Inc.
- Schunk, D. (1997). *Teorías del aprendizaje*. México : Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Sprinthall, N.; Sprinthall, R. y Oja, S. (1996). *Psicología de la educación*, Madrid: McGraw-Hill.
- Vergnaud, G.; Halwachs, F.y Rouchier, A. (1981). Estructura de la materia enseñada, historia de las ciencias y desarrollo conceptual del alumno. En C. Coll (Ed.), *Psicología genética y educación* (pp. 115-128). Barcelona: Oikos-tau.
- Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. En T. Carpenter, J. Moser y T. Romberg (1982). *Addition and subtraction. A cognitive perspective* (pp. 39-59). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

-
- Vergnaud, G. (1983). Multiplicative structures. En R. Lesh y M. Landau. (Eds.). *Acquisition of mathematics concepts and processes* (pp. 127-174). New York: Academic Press Inc.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didatique des Mathématiques*, 10 (23), 133-170 p.p.
- Vergnaud, G. (1993). Teoria dos campos conceituais. En L. Nasser, (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? En H. Guershon y J. Confrey, J. (1994). (Eds.) *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics* (pp. 41-59). Albany, N. Y.: State University of New York Press.
- Vergnaud, G. (1996). Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, 26 (10), 195-207 p.p.
- Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behaviour*, 17 (2), 167-181 p.p.
- Viennot, L. y Rainson, S. (1992). Students' reasoning about the superposition of electric field. *International Journal of Science Education*, 14 (4), 475-487 p.p.
- Viennot, L. y Rainson, S. (1999). Design and evaluation of research-based teaching sequence: the superposition of electric field. *International Journal of Science Education*, 21 (1), 1-16 p.p.
- Viennot, L. (2002). *Razonar en física. La contribución del sentido común*. Madrid: Antonio Machado.
- Vygotsky, L. (1995). *Pensamiento y lenguaje*. Barcelona: Paidós.
- Vygotsky, L. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Crítica, 1989.
- Woolfolk, A. (1996). *Psicología educativa*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Wertsch, J. (1995). *Vygotsky y la formación social de la mente*. Barcelona: Paidós.

ANEXO 1

CUESTIONARIO 1

PRESENTACIÓN:

En tu experiencia como estudiante de las asignaturas de física o de ciencias naturales has estudiado el *concepto de campo*. Para los fines y propósitos de la enseñanza y aprendizaje de la física, este concepto es fundamental para una mejor formación científica de los estudiantes, su comprensión de muchos fenómenos físicos y el conocimiento de principios de muchas aplicaciones tecnológicas. El aprendizaje del *concepto de campo* en la enseñanza de la física es el tema que nos interesa ver con vosotros.

- Ahora vas a contestar un cuestionario sobre *situaciones* donde encontrarás preguntas referentes a lo que tú piensas sobre este concepto. Estos datos nos servirán para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de este concepto en las asignaturas de física.
- Para ello en los espacios que se asignan a las preguntas responde lo que se acerque más a lo que piensas o crees.
- Este cuestionario es **anónimo y secreto**, no es un test ni un examen. Todas las repuestas son válidas pues representan lo que tú piensas sobre el concepto de campo.
- Antes de contestar el cuestionario escucha por favor atentamente las instrucciones que te dará la persona que acaba de entregártelo. Si tienes alguna pregunta o no entiendes alguna palabra, o cualquier otra duda que te surja, por favor, levanta la mano y la persona que está pasando el cuestionario vendrá a solucionártela.

MUCHAS GRACIAS POR TU COLABORACIÓN

¿Cómo responder a este cuestionario?

Para responder a este cuestionario basta con responder a cada una de las preguntas en los espacios que se han asignado para ello.

Antes de comenzar, responde por favor las siguientes preguntas:

Sexo: () Masculino () Femenino

Edad: _____

Curso: _____

Situación 1. A continuación aparece una lista de magnitudes físicas.

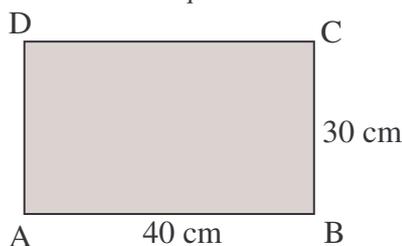
P.1 Clasifica estas magnitudes en dos grupos, aquellas que consideres **escalares** y aquellas que consideres **vectoriales** marcando una << x >> por cada magnitud de la lista, según sea la opción de tu respuesta. *Lo mismo si no lo sabes.*

Magnitudes físicas	Escalar	Vectorial	No lo sé
Masa			
Velocidad			
Fuerza			
Energía			
Temperatura			
Campo eléctrico			
Presión			
Campo magnético			
Desplazamiento			
Carga eléctrica			
Flujo magnético			
Longitud			
Potencial eléctrico			
Campo gravitatorio			

P.2 Escribe una explicación breve, de las principales propiedades que para tí definen a una magnitud escalar y a una vectorial.

Propiedades magnitud escalar	Propiedades magnitud vectorial

Situación 2. Los lados de la superficie de la mesa rectangular que se muestra en la figura miden 40 x 30 cm y las letras A, B, C y D designan los vértices de cada esquina.



P.3 Si \vec{AB} es el vector que une los vértices A y B y \vec{AD} el vector que une A y D, dibuja en la figura los siguientes vectores:

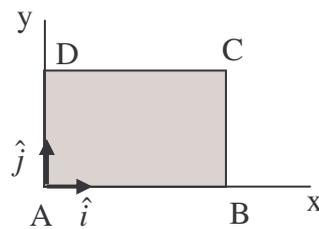
$$\vec{AB}$$

$$\vec{AD}$$

$$\vec{P} = \vec{AB} + \vec{AD}$$

$$\vec{Q} = \vec{AD} - \vec{AB}$$

P.4 A continuación, se presenta una Tabla con cuatro alternativas de representación para cada uno de estos vectores en función de sus *componentes*, con respecto a un sistema de referencia con origen en el vértice A de la mesa como muestra la figura. Las alternativas se designan por los números (1), (2), (3) y (4).



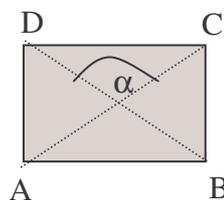
	(1)	(2)	(3)	(4)
$\vec{AB} =$	$30 \hat{i}$	$40 \hat{i}$	$50 \hat{j}$	$70 \hat{j}$
$\vec{AD} =$	$30 \hat{j}$	$40 \hat{j}$	$50 \hat{i}$	$10 \hat{i}$
$\vec{P} =$	$30 \hat{i} + 40 \hat{j}$	$40 \hat{i} + 30 \hat{j}$	$50 \hat{i} + 50 \hat{j}$	$70 \hat{i} + 70 \hat{j}$
$\vec{Q} =$	$30 \hat{i} - 40 \hat{j}$	$-30 \hat{i} + 40 \hat{j}$	$-40 \hat{i} + 30 \hat{j}$	$-40 \hat{i} - 30 \hat{j}$

Rodea con un círculo la alternativa de respuesta de representación de cada vector, que consideres correcta.

Respuestas

$\vec{AB} =$	1	2	3	4
$\vec{AD} =$	1	2	3	4
$\vec{P} =$	1	2	3	4
$\vec{Q} =$	1	2	3	4

P.5 Plantea y explica ¿Qué conceptos, operaciones y propiedades del álgebra vectorial aplicarías tú para determinar el ángulo α que forman las diagonales AC y BD de la mesa?



(No es necesario que realices el cálculo exacto, sólo explica tu planteamiento).

Explicación:

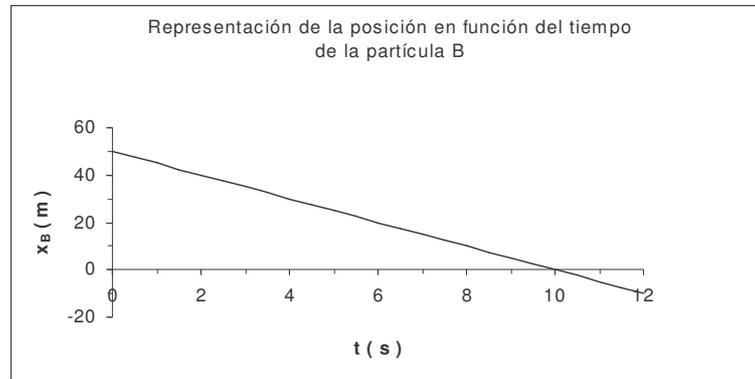
Situación 3. Dos partículas A y B se mueven en línea recta en sentido opuesto. En el instante $t = 0$ segundo, las posiciones de cada partícula sobre el eje X se muestran en la figura. Las flechas indican el sentido de sus movimientos.



La posición de la partícula A en función del tiempo está representada por la ecuación

$$x_A(t) = 20t - 2t^2$$

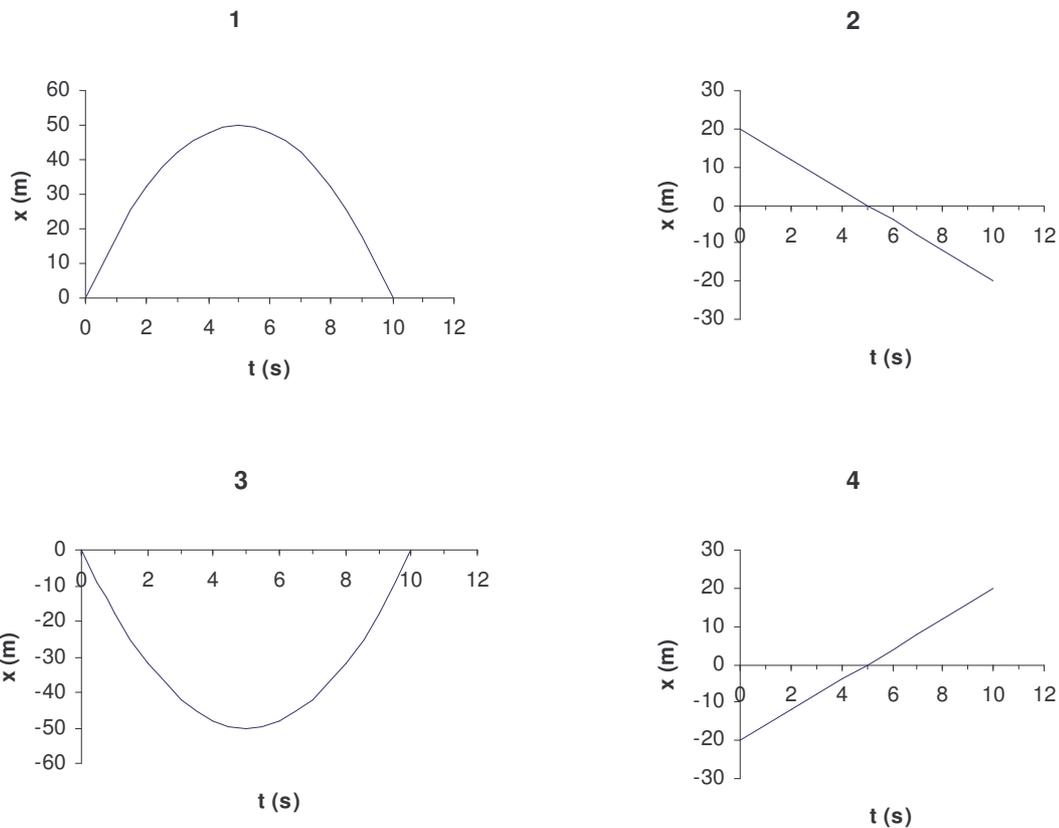
y la posición de la partícula B en función del tiempo por la gráfica.



P.6 Encierra con un círculo el número de la ecuación que representa la función $x_B(t)$ de la posición de la partícula B.

1	2	3	4
$x_B(t) = 50t - 5t^2$	$x_B(t) = 50 - 0,2t$	$x_B(t) = 50 - 5t$	$x_B(t) = 50 - 5t^2$

P.7 Encierra con un círculo el número de la gráfica que representa la función $x_A(t)$ de posición en del tiempo de la partícula A.



P.8. Plantea y explica ¿Cómo determinarías el instante y la posición en que las partículas A y B se cruzan?

Situación 4. Describe y explica dos situaciones cotidianas, una en que sea necesario utilizar el concepto de *campo escalar* y otra en que es necesario utilizar el concepto de *campo vectorial*, por ejemplo, campos de presión, densidad, fuerzas, eléctrico, magnético, gravitatorio, etc.

P.9 Situación de *campo escalar*

P.10 Situación de *campo vectorial*

Situación 5. ¿Cuáles de las siguientes magnitudes pueden ser descritas como *campos*?. Explica ¿Por qué? y fundamenta si son *campos escalares o vectoriales*.

P.11 *Dinero en un Banco*

P.12 *Velocidad del agua en una corriente*

P.13 *Temperatura en la superficie de un sartén*

Situación 6. Juan y Pedro conversan acerca de ¿Cuál modelo matemático es mas apropiado para describir un fluido (líquido o gas) en movimiento?

Juan dice:

“Un fluido en movimiento es un medio continuo, pero podemos describir su movimiento considerándolo como un conjunto o sistema de muchas partículas en movimiento, es decir, imaginamos que dividimos el fluido en pequeños elementos de volumen que podemos llamar partículas de fluido y seguir el movimiento de cada una de estas partículas. Luego, para responder preguntas relacionadas con el fluido en movimiento, tales como ¿Cuál es el valor de la velocidad, densidad u otra magnitud en algún punto del fluido y en algún instante de tiempo determinado?. Tales preguntas las podemos responder, si somos capaces de determinar las coordenadas de la posición de cada partícula del fluido en función del tiempo, las cuales describirán el movimiento del fluido y nos permitirán determinar la velocidad u otra magnitud asociada a cada instante de tiempo y a cada punto del fluido en movimiento”.

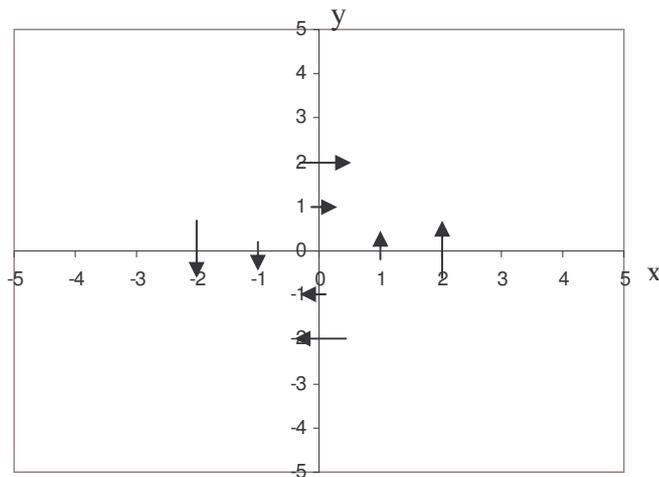
Pedro afirma:

“Es verdad, un fluido en movimiento es un medio continuo que se mueve por una región del espacio. Pero, seguir la trayectoria y movimiento de cada partícula individual o de pequeñas gotas de líquido es un enorme trabajo, porque si consideramos un punto específico del espacio del fluido y deseamos determinar la velocidad, densidad u otra magnitud en cada punto a medida que transurre el tiempo, debemos tener en cuenta que el fluido en cada punto está siendo reemplazado por fluido nuevo debido a su movimiento. Por lo tanto, para describir el movimiento de un fluido, es mejor enfocar nuestra atención en lo que está ocurriendo en cada punto del espacio del fluido en un determinado instante, más bien, que en lo que está ocurriendo con una partícula determinada, es decir, considero más apropiado describir el movimiento del fluido especificando la velocidad, la densidad u otra magnitud como una función de la posición y del tiempo, o sea, considerar el fluido en movimiento como una distribución continua de valores de velocidad (densidad, etc) en el espacio y el tiempo”.

P.14 Piensa y explica ¿Cuál crees tú, es el modelo (de Juan o Pedro) que mejor describe un fluido en movimiento?
Explicación:

Situación 7. En la figura se representan en puntos del plano XY, algunos vectores del campo de fuerzas descrito por la expresión

$$\vec{F} = y\hat{i} + x\hat{j} \quad (N)$$



y en la Tabla están escritas las expresiones de cada vector fuerza representado en la figura.

x (m)	y (m)	$\vec{F} = y\hat{i} + x\hat{j} \quad (N)$
0	0	0
0	1	\hat{i}
0	2	$2\hat{i}$
0	-1	$-\hat{i}$
0	-2	$-2\hat{i}$
1	0	\hat{j}
2	0	$2\hat{j}$
-1	0	$-\hat{j}$
-2	0	$-2\hat{j}$

P.15 ¿Cuánto crees tú vale la fuerza en los puntos indicados en la Tabla que se presenta a continuación? Completa la Tabla y dibuja estos vectores sobre la figura anterior.

x (m)	y (m)	$\vec{F} = y\hat{i} + x\hat{j} \quad (N)$
3	0	
1	2	
2	1	
1	3	
-2	-1	

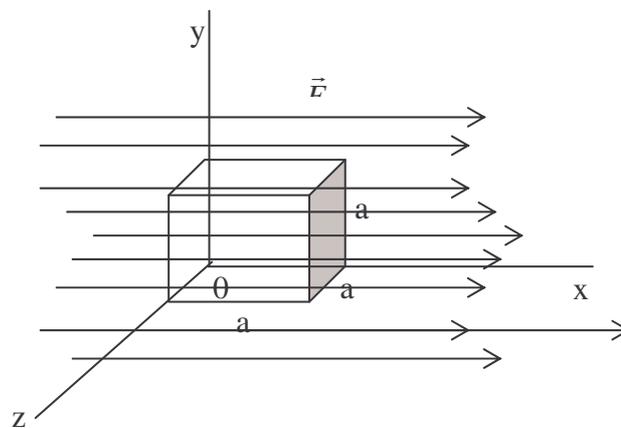
Imagina a una hormiga que se mueve en este campo de fuerzas en una trayectoria recta por la diagonal representada por la ecuación $y = x$.

P.16 Elige dos posiciones (A y B) de la hormiga en esta trayectoria y determina la fuerza sobre la hormiga en dichos puntos. Escribe tu respuesta completando la siguiente Tabla

Posición	x (m)	y (m)	$\vec{F} = y\hat{i} + x\hat{j}$ (N)
A			
B			

P.17 Realiza un dibujo o bosquejo que muestre la trayectoria y las fuerzas calculadas en las posiciones elegidas. ¿En qué punto la fuerza sobre la hormiga es mas intensa, en A o en B?

Situación 8. La superficie cúbica cerrada de lado $a = 0,02$ m, que se muestra en la figura está colocada en una región donde hay un campo eléctrico $\vec{E} = 2x\hat{i}$ N/C paralelo al eje X.



P.18 ¿Cuánto vale el campo eléctrico en los puntos de la cara sombreada de cubo?

P.19 Explica y justifica mediante cálculos o argumentos que el **flujo** Φ del campo eléctrico a través de la cara sombreada del cubo vale $\Phi = 16 \times 10^{-6}$ Nm²/C

No conozco el concepto de flujo: _____ ; Conozco el concepto, pero olvidé como calcularlo: _____

P.20 Explica y justifica mediante cálculos o argumentos que la **circulación** C del campo a lo largo del contorno de la cara sombreada es **nula** (vale cero).

No conozco el concepto de circulación: _____ ; Conozco el concepto, pero olvidé como calcularlo: _____

Situación 9.

Utiliza dibujos, ecuaciones y explicaciones para dar una idea de lo entiendes por *campo eléctrico* y *magnético*

P.21 *Campo eléctrico*

P.22 *Campo magnético*

Situación 10. En un punto P del espacio, **Juan** coloca una carga eléctrica $q_1 = +0,04 \text{ C}$ en reposo y observa que sobre ella actúa una fuerza $F_1 = 1 \text{ N}$ en la dirección sentido mostrada en la figura. Luego, **Carlos** retira dicha carga y coloca en P otra carga $q_2 = -0,02 \text{ C}$ en reposo y observa que sobre la carga q_2 actúa una fuerza $F_2 = 0,5 \text{ N}$ en la dirección y sentido indicado en la figura. Entonces, a partir de sus observaciones, ambos Juan y Carlos concluyen que en el punto P del espacio existe un *campo eléctrico*.

Figura de Juan

$$q_1 = +0,04 \text{ C}$$

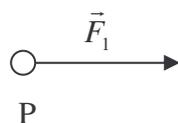
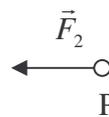


Figura de Carlos

$$q_2 = -0,02 \text{ C}$$



P.23 ¿Qué crees tú respecto a la conclusión de Juan y Carlos, es decir, que en el punto P existe un campo eléctrico? Piensa y explica si estas de acuerdo o en desacuerdo.

P.24 ¿Qué valores para el campo eléctrico en el punto P calcularían Juan y Carlos? Dibuja el vector correspondiente en cada figura.

Juan _____ ; Carlos _____ ; No lo sé _____

P.25 Supone que conoces los resultados de las observaciones de Juan y Carlos y que puedes usar esa información. Ahora imagina que tú colocas en P una carga $q_3 = +0,02 \text{ C}$ ¿Cuál sería el valor de la fuerza ejercida sobre la carga q_3 ? Dibuja también el vector correspondiente.

$$F_3 = \underline{\hspace{2cm}}$$

No lo sé: _____ ; Lo sé, pero falta información para calcularla: _____

ANEXO 2

MATERIALES TALLER 1

Parte I: Lectura documento

- Lee atentamente el siguiente texto y reflexiona sobre su contenido.

Concepto de campo en física

La interacción electromagnética, es la mejor comprendida de la naturaleza y probablemente la más importante para la vida cotidiana. La mayoría de los fenómenos que observamos incluyendo los procesos químicos y biológicos son el resultado de interacciones electromagnéticas entre átomos y moléculas. Para describir las interacciones eléctricas y magnéticas Maxwell introdujo el concepto de **campo**. Entendiendo por campo una propiedad física extendida en una región del espacio y descrita por medio de una **función** de la posición y el tiempo. El supuesto fundamental para describir interacciones entre partículas, mediante el concepto de campo, es que cada partícula produce a su alrededor un campo correspondiente, a su vez, este campo actúa sobre una segunda partícula para producir la interacción necesaria. La segunda partícula, también produce su propio campo, el cual actúa sobre la primera dando como resultado una acción mutua.

Aunque todas las interacciones se pueden describir por medio de campos, no todos los campos corresponden a interacciones. Este hecho está implícito en la definición de campo, por ejemplo, la temperatura del aire en una habitación posee un valor determinado en cada punto de ella, es decir, si T representa la temperatura, existe una función $T(x, y, z)$ que describe la temperatura en cada punto (x, y, z) . Por otra parte, la temperatura puede variar con el tiempo t , en cuyo caso, el campo además es una función de t , $T(x, y, z, t)$; como la temperatura es una magnitud escalar se trata de un ejemplo de **campo escalar**.

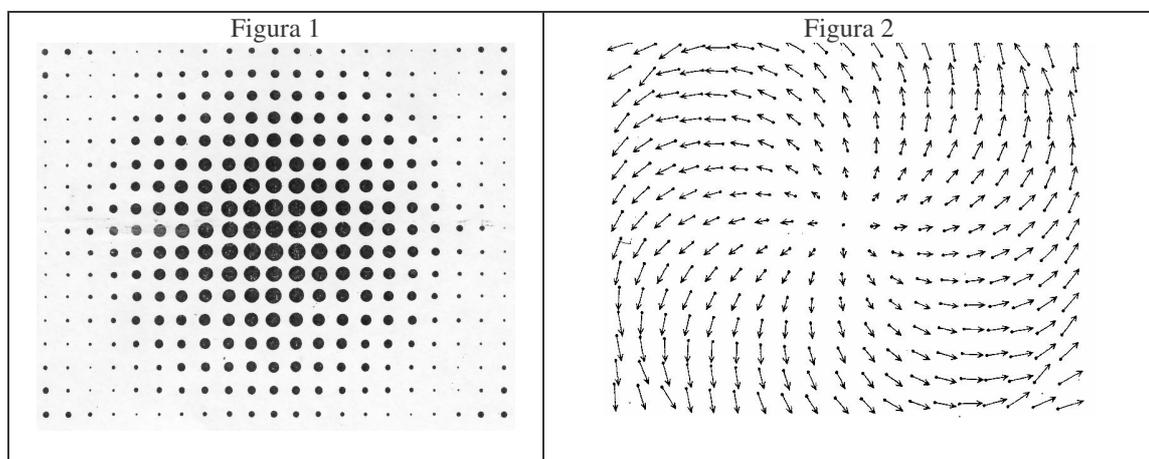
Además de los campos escalares, existen los **campos vectoriales**, que describen magnitudes vectoriales que existen en cada punto espacio del espacio y tiempo. Por ejemplo, en cada punto de un río, el agua tendrá una velocidad \vec{v} , y cada una de las componentes de este campo vectorial de velocidades $v_x(x, y, z, t)$, $v_y(x, y, z, t)$ y $v_z(x, y, z, t)$ serán una función de la posición y del tiempo respectivamente.

- Piensa y explica: ¿Cuál es el significado del concepto de campo en física? ¿Qué es un campo escalar y uno vectorial?

Parte II: Cuestionario de situaciones

Situación 1: Describe y explica dos situaciones cotidianas, una en que sea necesario utilizar el concepto de **campo escalar** y otra en que es necesario utilizar el concepto de **campo vectorial**, por ejemplo, campos de presión, densidad, fuerzas, eléctrico, magnético, gravitatorio, etc.

Situación 2: Observa las siguientes figuras.



- ¿Qué situación física representan para ti cada una de estas figuras? Razona y explica tu respuesta.
- Observa y analiza las siguientes ecuaciones, donde \vec{F} representa un vector cuyo módulo expresa valores de fuerza medida en Newton y T valores de temperatura medidos en grados Celsius; x e y son las coordenadas de un punto del plano XY medidas en metros.

Ecuación 1

$$\vec{F} = -y\hat{i} - x\hat{j} \quad (N)$$

Ecuación 2

$$T = \frac{1}{x^2 + y^2} \quad (^\circ C)$$

- Dibuja una representación gráfica para cada una de las ecuaciones y explica brevemente tu respuesta.

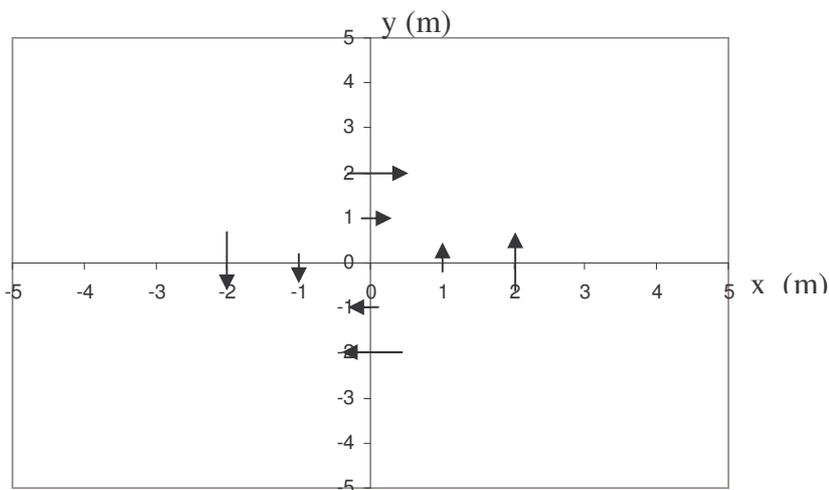
Situación 3: Piensa en cada uno de estos fenómenos:

- Velocidad del agua de un río.
- Temperatura en la superficie de una sartén colocada en el quemador de una cocina.

Realiza un dibujo y/o escribe una expresión matemática que represente cada uno de estos fenómenos. Explica brevemente tu dibujo o representación matemática

Situación 4: En la figura se representan para algunos puntos del plano XY , los vectores de un campo de fuerzas descrito por la expresión

$$\vec{F} = y\hat{i} + x\hat{j} \quad (N)$$



- Imagina a una hormiga que se mueve en este campo de fuerzas por una trayectoria recta por la diagonal, representada por la ecuación $y = 2x$. Elige cuatro posiciones (puntos A, B, C y D) de la hormiga en esta trayectoria y calcula la fuerza que actúa sobre la hormiga en dichos puntos. Escribe tu respuesta en la Tabla.

Punto	x (m)	y (m)	$\vec{F} = y\hat{i} + x\hat{j} \quad (N)$
A			
B			
C			
D			

- Realiza un dibujo que muestre la trayectoria y las fuerzas calculadas en los puntos A, B, C y D elegidos ¿En cuál de estos puntos la fuerza sobre la hormiga es más intensa?

ANEXO 3

MATERIALES TALLER 2

Parte I: Lectura documento

- Lee atentamente el siguiente texto y reflexiona sobre su contenido.

Campo eléctrico: De la interacción a distancia a la interacción de contacto

La fuerza eléctrica ejercida por una partícula con carga eléctrica sobre otra partícula, es un ejemplo de acción a distancia entre partículas. Esta idea representa un problema conceptual importante, debido a que debe dar respuesta a preguntas tales como: ¿Cuál es el mecanismo por el cual una partícula ejerce una fuerza sobre otra a través del espacio vacío que existe entre las partículas? Si una partícula situada en un punto se mueve súbitamente en un instante determinado ¿Variará instantáneamente la fuerza ejercida sobre la segunda partícula situada a una distancia r de la primera? Para evitar el concepto de acción a distancia en la teoría del electromagnetismo se introdujo el concepto de **campo eléctrico**. El modelo de campo, establece que las partículas cargadas modifican las características del espacio que las rodea y este espacio adquiere una propiedad que les permite actuar sobre otras partículas cargadas. El vacío en este sentido, es un espacio en que hay ausencia de materia y las nuevas propiedades adquiridas por éste, es lo se llama **campo**. En consecuencia, ¿Qué es el campo eléctrico? Es una propiedad o característica eléctrica del espacio responsable de que éste pueda ejercer una fuerza sobre partículas cargadas inmersas en él.

De acuerdo con este modelo, una carga crea un campo eléctrico \vec{E} en todo el espacio, y este campo ejerce una fuerza sobre la otra carga, es decir, la fuerza es ejercida por el **campo** en la posición de la segunda carga, más que por la primera carga que está ubicada a cierta distancia. El campo se propaga a la velocidad de la luz. Luego, si una carga se mueve, la fuerza que ejerce sobre otra carga a una distancia r se modifica después que transcurre un tiempo r/c donde c es la velocidad de la luz.

Definición del campo eléctrico

Supongamos que en una región tenemos una distribución de n cargas q_i y nos interesa conocer su efecto sobre otra carga q_0 colocada en un punto $P(x, y, z)$ de sus proximidades. La carga q_0 experimentará una fuerza $\vec{F} = \sum_i^n \vec{F}_i$ y decimos que está en el campo producido por las n cargas q_i . Como la fuerza que cada carga q_i ejerce sobre q_0 es proporcional a ésta, la fuerza resultante \vec{F}_0 también es proporcional a q_0 (principio de superposición). Luego, la fuerza sobre una partícula cargada colocada en un campo eléctrico, es siempre proporcional a la carga colocada en ese punto. Por lo tanto, si dividimos por q_0 obtenemos una magnitud vectorial que depende solamente de la estructura del sistema de cargas q_i y de la posición del punto $P(x,y,z)$. A este vector función de la posición (x, y, z) se denomina **campo eléctrico** $\vec{E}(x, y, z)$ originado por las cargas q_i que se denominan *fuentes o manantiales* de campo. En consecuencia, el campo eléctrico en un punto $P(x, y, z)$, se define operacionalmente como la fuerza por unidad de carga colocada en ese punto.

$$\vec{E}(x, y, z) = \frac{\vec{F}_0}{q_0} \quad \text{o} \quad \vec{F}_0 = q_0 \vec{E}$$

donde \vec{F}_0 es la fuerza que el campo eléctrico ejerce sobre la carga q_0 que se acostumbra llamar **carga de prueba o carga testigo**. Una carga de prueba por convención es una carga puntual positiva de pequeña magnitud $q_0 \rightarrow 0$, de modo que su presencia no altere apreciablemente las características del espacio que se va a medir, y es considerada como un *sensor* o *detector* del campo eléctrico. De acuerdo con su definición, el campo eléctrico se mide en unidades de N/C.

Parte II: Cuestionario de situaciones

Situación 1. En un punto P del espacio, **Juan** coloca una carga eléctrica $q_1 = + 0,04 \text{ C}$ en reposo y observa que sobre ella actúa una fuerza $F_1 = 1 \text{ N}$ en la dirección sentido mostrada en la figura. Luego, **Carlos** retira dicha carga y coloca en P otra carga $q_2 = - 0,02 \text{ C}$ en reposo y observa que sobre la carga q_2 actúa una fuerza $F_2 = 0,5 \text{ N}$ en la dirección y sentido indicado en la figura.

Figura de Juan

$$q_1 = + 0,04 \text{ C}$$

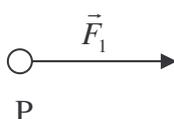
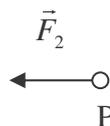


Figura de Carlos

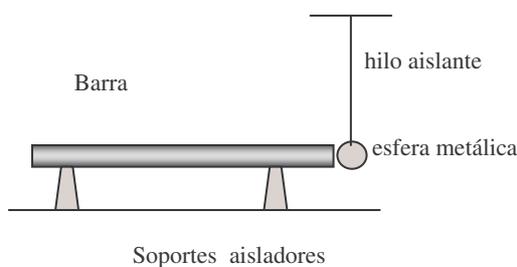
$$q_2 = - 0,02 \text{ C}$$



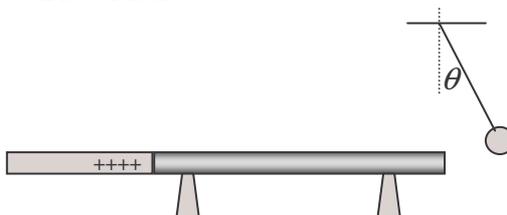
Entonces, a partir de sus observaciones, ambos, Juan y Carlos concluyen que en ese punto P del espacio existe un **campo eléctrico**.

- Piensa y explica si estás de acuerdo o en desacuerdo con la conclusión de Juan y Carlos, es decir, que en el punto P existe un **campo eléctrico**
- ¿Qué valores para el campo eléctrico en el punto P calcularían Juan y Carlos? . Dibuja en cada figura el vector de campo correspondiente.
- Considera que puedes usar como información los resultados de las observaciones y cálculos de Juan y Carlos. Imagina ahora que tú colocas en P una carga $q_3 = + 0,02 \text{ C}$ ¿Cuál sería el valor de la fuerza ejercida sobre la carga q_3 ? Dibuja también el vector correspondiente.

Situación 2. Observa el siguiente montaje. Una barra metálica soportada por aisladores, toca la esfera metálica de un péndulo de masa pequeña que cuelga de un hilo aislante.

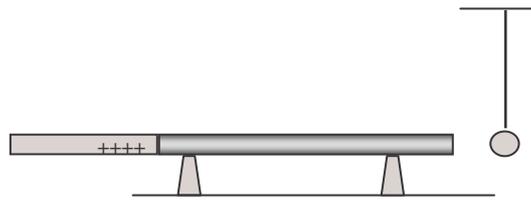


Al tocar la barra metálica con otra barra cargada previamente con carga eléctrica positiva el péndulo se separa formando un ángulo θ con la vertical.



- Piensa y explica ¿Por qué el péndulo se separa?

Ahora, el péndulo se separa una pequeña distancia de la barra metálica, y se toca nuevamente la barra metálica con la barra cargada como se muestra en la figura.



- ¿Qué crees tú que sucederá con el péndulo?

- A) El péndulo será atraído y permanecerá pegado a la barra
- B) El péndulo será atraído y luego se separa de la barra
- C) El péndulo será repelido y luego atraído hacia la barra
- D) El péndulo permanece en reposo

Explica tu respuesta.

- En un punto determinado del espacio, una carga Q no experimenta ninguna fuerza. Por lo tanto:
 - A) No existen cargas próximas
 - B) Si existen cargas próximas, su carga es opuesta a la de Q .
 - C) Si existen cargas próximas, la carga positiva total debe ser igual a la carga negativa total.
 - D) Ninguna de las afirmaciones anteriores es necesariamente cierta.

Explica tu respuesta.

ANEXO 4

CUESTIONARIO 2

PRESENTACIÓN:

En tu experiencia como estudiante de la asignatura de *Electricidad y Magnetismo* haz estudiado el *concepto de campo*. Para los fines y propósitos de la enseñanza y aprendizaje de la física, este concepto es fundamental para una mejor formación científica de los estudiantes, su comprensión de muchos fenómenos físicos y el conocimiento de principios de muchas aplicaciones tecnológicas. El aprendizaje del *concepto de campo* en la enseñanza de la física es el tema que nos interesa ver con ustedes.

- Ahora vas a contestar un cuestionario sobre *situaciones* donde encontrarás preguntas referentes a lo que tú piensas sobre este concepto. Estos datos nos servirán para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de este concepto en otras asignaturas de física.
- Para ello, responde en los espacios que se asignan a las preguntas lo que se acerque más a lo que tú piensas o crees.
- Este cuestionario *no es un test ni un examen*. Todas las repuestas son válidas pues *representan lo que tú piensas* sobre el concepto de campo.
- Antes de contestar el cuestionario escucha por favor atentamente las instrucciones que te dará la persona que acaba de entregártelo. Si tienes alguna pregunta o no entiendes alguna palabra, o cualquier otra duda que te surja, por favor, levanta la mano y la persona que está pasando el cuestionario vendrá a solucionártela.

MUCHAS GRACIAS POR TU COLABORACIÓN

¿Cómo responder a este cuestionario?

Para responder a este cuestionario basta con responder a cada una de las preguntas en los espacios que se han asignado para ello.

Antes de comenzar, responde por favor las siguientes preguntas:

Sexo: () Masculino () Femenino

Edad: _____

Carrera: _____

Nombre: _____

Situación 1. A continuación aparece una lista de magnitudes físicas en diferentes situaciones.

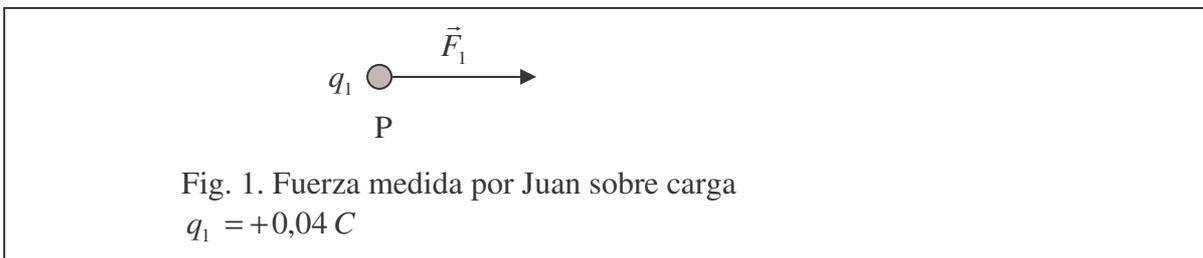
P.1 Clasifica cada una de estas magnitudes físicas marcando una << x >> por cada magnitud, en alguna casilla de los grupos (escalar, vector, campo escalar y campo vectorial) indicados en la Tabla. *Lo mismo si no lo sabes.*

Magnitudes físicas	Solo escalar	Solo vector	Campo escalar	Campo vectorial	No lo sé
Velocidad de un protón en un ciclotrón.					
Densidad de corriente en un conductor metálico en un circuito eléctrico.					
Energía cinética de una esfera que rueda por un plano inclinado.					
Temperatura del aire en el interior de un invernadero.					
Momento dipolar magnético de una espira con corriente eléctrica.					
Presión hidrostática del agua de un lago					
La densidad de carga eléctrica en la superficie de un conductor cargado.					
Densidad de energía eléctrica entre las placas de un condensador esférico.					
Potencial eléctrico de una esfera conductora cargada.					
Momento dipolar eléctrico por unidad de volumen de las moléculas de agua de un vaso.					

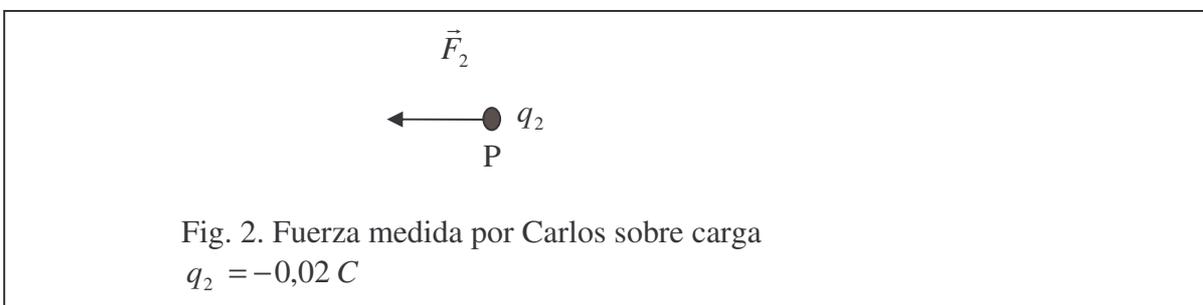
P.2 Escribe brevemente las principales propiedades o atributos que para ti definen los conceptos de: *Escalar, Vector, Función, Campo escalar y Campo vectorial*

Escalar	
Vector	
Función	
Campo escalar	
Campo vectorial	

Situación 2. En un punto P del espacio, **Juan** coloca una carga eléctrica $q_1 = +0,04\text{ C}$ en reposo y mide que sobre ella actúa una fuerza $F_1 = 1\text{ N}$ en la dirección y sentido mostrada en la figura 1.



Luego, **Carlos** retira la carga colada por Juan y coloca en el mismo punto P otra carga $q_2 = -0,02\text{ C}$ en reposo y observa que sobre la carga q_2 actúa una fuerza $F_2 = 0,5\text{ N}$ con la dirección y sentido indicado en la figura 2.



Entonces, basados en sus mediciones, tanto Juan como Carlos concluyen que en ese punto P del espacio existe un **campo eléctrico**.

P.3 A partir de los resultados de sus propias mediciones. ¿Qué valores para el campo eléctrico en el punto P calcularán Juan y Carlos? Dibuja también en cada figura el vector correspondiente.

Juan: $E =$ _____ ; Carlos: $E =$ _____ ; No lo sé _____

P.4 Como tú conoces los resultados de las mediciones de Juan y Carlos puedes usar esa información. Imagina que tú colocas en P otra carga $q_3 = +0,03\text{ C}$ ¿Cuánto vale la fuerza ejercida sobre la carga q_3 ? Dibuja también el vector correspondiente.

$F_3 =$ _____

No lo sé: _____ ; Falta información para calcular F_3 : _____

Situación 3. Juan y Pedro conversan acerca de ¿Cuál modelo matemático es mas apropiado para describir un fluido (líquido o gas) en movimiento?

Juan dice :

“Un fluido en movimiento, ya sea un líquido o un gas, es un medio continuo, pero podemos describir su movimiento considerándolo como un conjunto o sistema de muchas partículas en movimiento. Es decir, imaginamos que dividimos el fluido en pequeños elementos de volumen, que podemos llamar partículas de fluido y seguir el movimiento de cada una de estas partículas. Entonces, para responder preguntas relacionadas con el fluido, tales como ¿Cuál es el valor de la velocidad, densidad u otra magnitud física en algún punto del espacio y en algún instante de tiempo determinado del fluido? Estas preguntas las podemos responder, si somos capaces de determinar las coordenadas de la posición de cada partícula del fluido en función del tiempo, las cuales describirán completamente el movimiento del fluido y nos permitirán determinar la velocidad u otra magnitud física asociada al fluido en movimiento”.

Pedro afirma:

“Es verdad, un fluido en movimiento es un medio continuo que se mueve por una región del espacio. Pero, seguir la trayectoria y movimiento de cada partícula individual o de pequeñas gotas de líquido es un enorme trabajo, porque si consideramos un punto específico del espacio del fluido y deseamos determinar la velocidad, densidad u otra magnitud en cada punto a medida que transurre el tiempo, debemos tener en cuenta que el fluido en cada punto está siendo reemplazado por fluido nuevo debido a su movimiento. Por lo tanto, para describir el movimiento de un fluido, es mejor enfocar nuestra atención en lo que está ocurriendo en cada punto del espacio del fluido en un determinado instante, más bien, que en lo que está ocurriendo con una partícula determinada, es decir, considero más apropiado describir el movimiento del fluido especificando la velocidad, la densidad u otra magnitud física como una función de la posición y del tiempo, o sea, considerar el fluido en movimiento como una distribución continua de valores de velocidad (densidad, etc) en el espacio y el tiempo”.

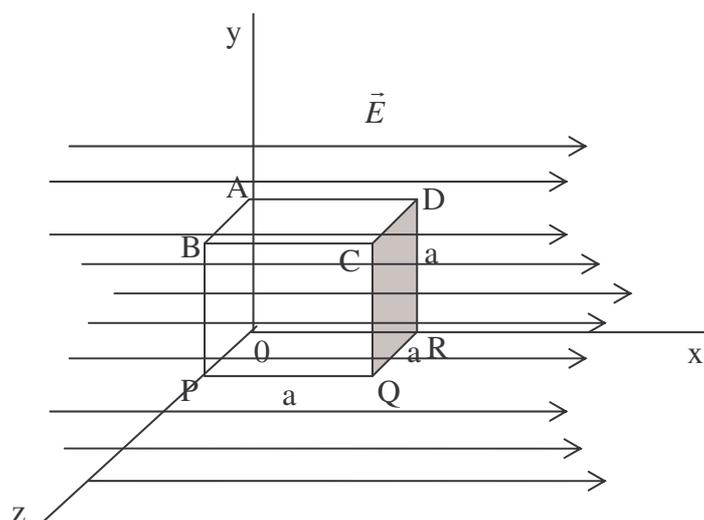
P.5 ¿Cuál modelo, el de **Juan** o el de **Pedro**, elegirías tú para describir los residuos líquidos eliminados por una planta de celulosa? Marca tu elección con una << x >>.

Modelo de Juan: _____ Modelo de Pedro: _____

P.6 Explica brevemente, ¿Qué ventajas (físicas, matemáticas, conceptuales, etc.), justifican tu elección?

Explicación:

Situación 4. La figura muestra un cubo de lado $a = 0,02$ m, colocado en una región del espacio donde hay un campo eléctrico $\vec{E} = 2x \hat{i}$ N/C paralelo al eje X



P.7 ¿Cuánto vale el campo eléctrico en la cara sombreada de cubo?

P.8 ¿Cuánto vale el flujo Φ eléctrico en la cara sombreada del cubo?

Conozco el concepto, pero olvidé como calcularlo: _____

P.9. Si en el interior del cubo existe carga eléctrica neta igual a $q = 1,41 \times 10^{-16} \text{ C}$ ¿Cuánto vale el flujo eléctrico a través del cubo?

P.10 Para responder la pregunta anterior es suficiente:

- i) Conocer la carga neta encerrada por el cubo
- ii) Conocer el campo eléctrico en todo punto de las caras del cubo
- iii) Aplicar la ley de Gauss

A) Sólo i B) Sólo ii C) Sólo iii D) i y iii E) ii y iii

P.11 Mediante cálculos o argumentos muestra que la **circulación** del campo eléctrico a lo largo del contorno que une los vértices Q, R, D, C y Q de la cara sombreada vale cero.

Conozco el concepto, pero olvidé como calcularlo: _____

Situación 5. Lee atentamente este texto tomado del libro “*La Física Aventura del Pensamiento*” de Albert Einstein* y Leopold Infeld. *Premio Nóbel de Física 1921.

“... Supongamos un circuito por el cual circula una corriente eléctrica que tiene como fuente, por ejemplo, una batería voltaica. Cortemos rápidamente la conexión entre el circuito y la batería. Hemos anulado, con ello, la corriente. Pero, durante el corto tiempo que dura el proceso de interrupción, se produce otro proceso complicado que pudo haberse previsto con la teoría del campo.

En efecto, antes de la interrupción de la corriente existía un campo magnético en la proximidad del conductor, que desapareció al anularse la corriente. En otras palabras, interrumpiendo un corriente hemos hecho desaparecer un campo magnético. El número de líneas de fuerza que atravesaban la superficie que limita al conductor cerrado cambia, en consecuencia, rápidamente. Pero tal variación, cualquiera que sea la forma de producirla, debe crear una corriente inducida. Como lo que en realidad importa es la magnitud del cambio, cuanto más rápido sea éste, más intensa ha de ser la corriente inducida.

Esta consecuencia es otra prueba para la teoría. La anulación de una corriente (apertura del circuito) debe ir acompañada por la aparición de una corriente inducida momentánea e intensa. La experiencia confirma de nuevo esta predicción.

Quién haya cortado alguna vez una corriente eléctrica, habrá notado, probablemente, la aparición de una chispa o un arco. Esto revela la aparición de una gran diferencia de potencial, causada por el cambio rápido del campo magnético”.

A partir de lo leído en el texto y tus conocimientos de física, en especial, de electricidad y magnetismo responde las siguientes preguntas:

P.12 ¿Cuál crees tú, es el “*proceso complicado*” que pudo haberse previsto con la teoría del campo, a que se refieren Einstein e Infeld? Explica brevemente tu respuesta

P.13 Realiza y explica un dibujo, o un esquema que represente la situación descrita en el texto.
Dibujo y explicación:

P.14 Explica ¿Cómo Einstein e Infeld describen y explican en el texto la creación de una corriente inducida?

Situación 6.

Considera las siguientes ecuaciones que pueden aplicarse en problemas o situaciones que se relacionan con el campo electrostático.

$$i) dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \quad ii) E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} \quad iii) dV = -\vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$

P.15 Las ecuaciones que representan y describen la “*diferencia de potencial dV* ”entre dos puntos del espacio separados una distancia infinitesimal son:
A) i y ii B) i y iii C) ii y iii D) i y iii E) Ninguna de ellas

P.16 Las ecuaciones que representan y describen la “*diferencia de potencial dV* ” entre un punto P del espacio y el infinito, generado por una carga eléctrica son:
A) Sólo i B) Sólo ii) C) Sólo iii D) i y iii E) ninguna de ellas

P.17 Realiza un dibujo o bosquejo que represente o ilustre alguna situación, en que tú aplicarías cada una de estas ecuaciones. *No es necesario que realices cálculos.*

$dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{ \vec{r} - \vec{r}' }$	$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}$	$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{\ell}$

Situación 7.

Considera dos espiras conductoras de radio R separadas una distancia D como se muestra en la figura 1. Si por cada espira se hace circular una corriente I_1 e I_2 en el mismo sentido como se muestra en la figura 2

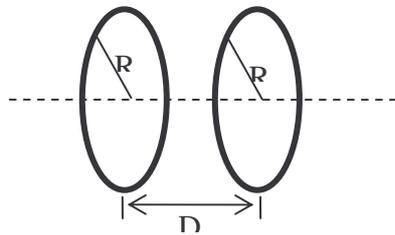


Fig.

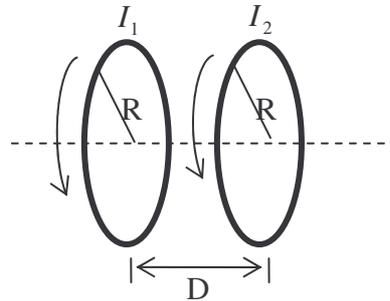


Fig. 2

P.18 ¿Existe interacción magnética (fuerzas) entre ambas espiras con corriente?

SI: _____

NO: _____

P.19 Si tu respuesta es negativa explica brevemente ¿Por qué?

P.20 Si tu respuesta es afirmativa *dibuja* en la Fig. 2 las *fuerzas* entre las espiras y explica brevemente ¿Por qué existe interacción?

Situación 8.

Utiliza dibujos, ecuaciones y explicaciones para dar una idea de lo *que tú entiendes por campo eléctrico y magnético*

P.21 *Campo eléctrico*

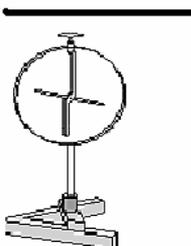
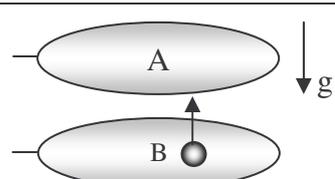
P.22 *Campo magnético*

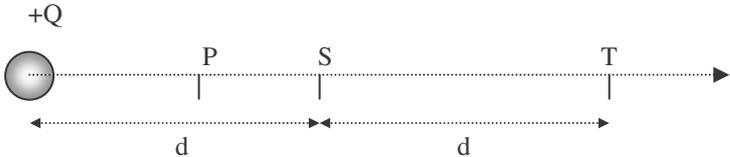
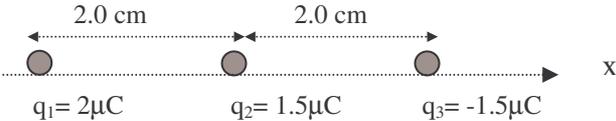
ANEXO 5

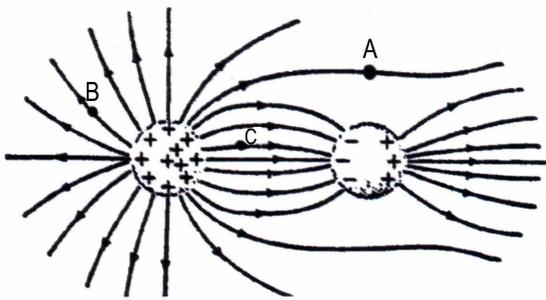
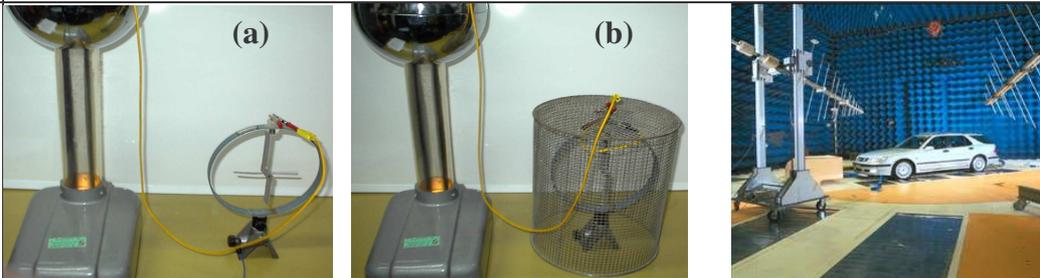
PRUEBA N° 1

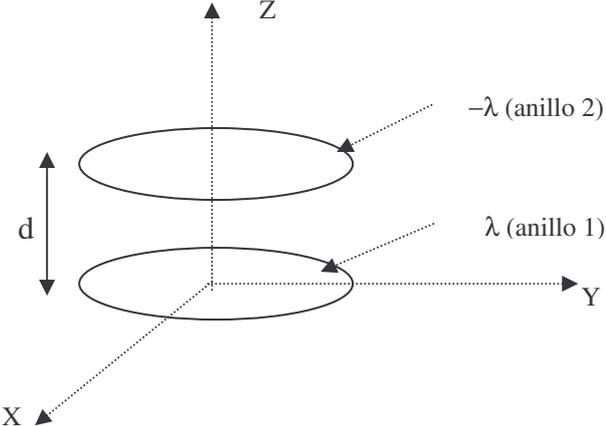
Instrucciones:

1. Esta prueba tiene 23 preguntas en total, hay 14 preguntas de selección múltiple, aquí usted debe marcar la letra A, B, C, D o E que corresponde a la respuesta correcta, hay 4 preguntas de respuesta breve, aquí es suficiente con indicar la respuesta solicitada y hay 5 preguntas de desarrollo, aquí es necesario que describa completamente el desarrollo y los fundamentos que justifican dicho desarrollo.
2. El puntaje total de la prueba es de 31 puntos. El puntaje asignado a cada pregunta está en la primera columna. En las respuestas numéricas usted debe incluir la unidad de medida, su omisión se penalizará descontando 0.5 puntos.
3. La nota 4.0 se obtiene con el 50% del puntaje y el 7.0 con el 100% del puntaje.
4. Usted está autorizado para usar el formulario oficial, tabla de integrales y calculadora. No se permite compartir este material.
5. A partir de este momento usted dispone de 2.0 horas para responder la prueba.

(1)	1.-	Respecto del estado neutro. ¿Cuántos electrones en exceso tiene un filamento de 1.0 metros de longitud, cuya densidad de carga media es de -1.6×10^{-12} (C/m).
		Resp:
(1)	2.-	 <p>Una barra se acerca a un electroscopio cargado, sin tocarlo, causando que la divergencia de la aguja móvil aumente en presencia de la barra. De esta observación se concluye que:</p> <p>I) la barra y el electroscopio tienen carga neta de igual clase.</p> <p>II) La carga neta del electroscopio aumenta conforme disminuye la distancia entre la barra y el electroscopio.</p> <p>III) Si se retira la barra, la divergencia observada en el electroscopio recupera la situación inicial.</p> <p>Es correcto:</p> <p>A) I y II B) I y III C) II y III D) I, II y III E) Ninguna de ellas</p>
(1)	3.-	 <p>Sean A y B discos conductores paralelos en posición horizontal, conectados a un generador electrostático el cual mantiene constante la carga en los discos. En estas condiciones, en la superficie del disco B se libera una pequeña esfera conductora la que inmediatamente se mueve oscilando entre A y B, tocando a los discos. El disco A tiene carga positiva y el disco B tiene carga negativa.</p> <p>En relación al movimiento de la esferita se afirma que:</p> <p>I) Cada vez que la esferita hace contacto con un disco adquiere carga de igual clase que la del disco siendo repelida por éste.</p> <p>II) La esferita solo se carga cuando hace contacto con B.</p> <p>III) En el viaje desde B hacia A la esferita, ha liberado su carga y cae solo por efecto de la gravedad.</p> <p>Es correcto:</p> <p>A) sólo I B) solo II C) sólo III D) II y III E) la esferita se mantiene fija en B</p>
(1)	4.-	Un neutrón bajo ciertas condiciones es posible que se desintegre en un protón, un electrón y en un antineutrino. Se afirma que la carga del antineutrino es $q = ne$, donde e es el valor absoluto de la carga elemental, luego ¿cuál es el valor de n ? <p>A) 0 B) 1 C) -1 D) 2 E) -2</p>

(1)	5.-	 <p>En las condiciones de la figura, una partícula de masa m y carga $+q$ se libera en el punto P de la figura. Sean a_S y a_T la aceleración de la partícula en los puntos S y T respectivamente. Si se solo se considera la interacción eléctrica entre las partículas ¿Cuánto es el valor de a_S/a_T?</p> <p>A) $1/4$ B) $1/2$ C) 1 D) 2 E) 4</p>
<p>Información para las preguntas 6, 7 y 8 Tres partículas cargadas se ubican en el eje X, como muestra la figura. La distancia entre dos partículas consecutivas es de 2.0 cm.</p>		
		
(1)	6.-	<p>¿Cuánto es el módulo de la fuerza que la carga q_3 ejerce en la carga q_1? ¿En qué sentido?</p> <p>Respuesta:</p>
(1)	7.-	<p>¿Cuáles de los elementos que se mencionan a continuación se deben considerar en el desarrollo de la pregunta anterior?</p> <p>I) <i>Ley de Coulomb</i> II) <i>Principio de Superposición</i> III) <i>El efecto que q_2 produce en q_1</i></p> <p>Es correcto: A) I y II B) I y III C) I, II y III D) solo I E) solo III</p>
(1)	8.-	<p>¿Cuáles de las afirmaciones siguientes son correctas?</p> <p>I) <i>La fuerza neta sobre la partícula q_1 es igual a la fuerza que q_2 ejerce sobre q_1.</i> II) <i>La partícula q_3 no ejerce fuerza sobre q_1 porque la partícula q_2 lo impide.</i> III) <i>La fuerza neta sobre q_1 es cero, porque $(q_2 + q_3)$ es cero.</i></p> <p>A) I y II B) solo III C) solo I D) solo II E) ninguna de ellas es correcta.</p>
(1)	9.-	<p>Sean q_a y q_b partículas cargadas, la carga esta en (nC).</p> <p>I) $q_a = 2$ y $q_b = 10$ II) $q_a = 5$ y $q_b = 5$ III) $q_a = 3$ y $q_b = -7$</p> <p>En los tres casos la distancia entre las cargas es d. ¿Cuál de las siguientes alternativas es correcta?</p> <p>La interacción eléctrica entre las cargas:</p> <p>A) es mayor en el caso I porque la carga neta de la distribución es la mayor. B) es mayor en el caso II porque el producto de las cargas es la mayor. C) es menor en el caso III porque la carga neta de la distribución es la menor D) en los casos II y III tiene la misma intensidad porque cantidad de carga disponible es la misma E) En el caso I, solo la fuerza eléctrica en la carga b es la mayor, porque ella tiene la mayor cantidad de carga.</p>

(1)	10.-		<p>La joven de la figura está aislada del suelo y con su mano se apoya en la esfera del generador electrostático el cual se mantiene funcionando. El aspecto del cabello se debe a:</p> <p>I) <i>La repulsión entre objetos con carga del mismo tipo.</i> II) <i>Los cabellos tienden a alinearse en la dirección del campo eléctrico.</i> III) <i>Los cabellos son atraídos hacia la esfera del generador</i></p> <p>Es correcto:</p> <p>A) I y II B) I y III C) II y III D) I, II y III E) sólo II</p>
(1)	11.-		<p>Una esfera conductora neutra se ubica en la vecindad de otra esfera conductora con carga neta positiva, generándose el campo eléctrico representado por líneas de campo eléctrico. Sean E_A, E_B y E_C la intensidad del campo eléctrico en los puntos A, B y C respectivamente. Es correcto afirmar que:</p> <p>A) $E_A > E_B > E_C$ B) $E_C > E_A > E_B$ C) $E_B > E_C > E_A$ D) $E_A > E_C > E_B$ E) $E_C > E_B > E_A$</p>
(1)	12.-		<p>En la figura (a) hay un generador en contacto con un electroscopio. En (b) el generador cargado hace contacto con la caja metálica, en su interior hay un electroscopio cuya aguja se mantiene cerrada, en la figura (c) hay generadores electrostáticos y un auto expuesto a las descargas eléctricas. Analice las figuras a y b y compare con c.</p> <p>Respecto de la figura (c) se afirma que:</p> <p>I) <i>El campo eléctrico en el interior del automóvil es cero, luego el conductor en su interior no se electrocuta.</i> II) <i>El conductor se electrocutaría sólo si toca cualquier parte metálica del interior del automóvil.</i> III) <i>El conductor se electrocutaría si se baja del automóvil</i></p> <p>Es correcto:</p> <p>A) I y II B) I y III C) II y III D) I, II y III E) sólo I</p>
(1)	13.-	<p>¿Cuáles de las afirmaciones siguientes son correctas?</p> <p>I) <i>La fuerza eléctrica total sobre un dipolo ubicado en un campo eléctrico uniforme, es cero.</i> II) <i>Un dipolo en un campo eléctrico uniforme se desplaza en la dirección y sentido del campo eléctrico.</i> III) <i>Un dipolo gira en un campo eléctrico hasta que se orienta en la dirección del campo</i></p> <p>A) I y II B) I y III C) II y III D) I, II y III E) solo III</p>	

(3)	14.-	<p>Considere la distribución de cargas de la figura, formada por dos partículas de igual carga eléctrica Q.</p>  <p>¿En que puntos del eje X, el módulo del campo eléctrico generado por ambas partículas es máximo?</p> <p>Debe incluir el desarrollo en orden incluyendo los fundamentos del desarrollo</p>
(1)	15.-	<p>¿Cuáles de los siguientes conceptos son características de la materia? I) <i>carga eléctrica</i> II) <i>campo eléctrico</i> III) <i>fuerza eléctrica</i> IV) <i>densidad de carga</i></p> <p>Es correcto: A) I y II B) I y III C) I y IV D) I, III y IV E) solo I</p>
<p>Información para las preguntas 16 a 17</p>		
 <p>Dos anillos circulares de radio a, con densidades de carga λ y $-\lambda$, con $\lambda > 0$, se ubican en los planos $Z=0$ y $Z=d$, como muestra la figura:</p>		
(1)	16.-	<p>¿Cuáles de las siguientes afirmaciones son correctas?</p> <p>I) <i>El campo eléctrico en el eje Z, en $z=d/2$ es cero.</i> II) <i>La intensidad del campo eléctrico en el eje Z, para $z > d$, es menor que la intensidad del campo eléctrico generado individualmente por cualquiera de los dos anillos.</i> III) <i>El campo eléctrico entre los anillos, en el eje Z está en la dirección \hat{k}</i></p> <p>A) I y II B) I y III C) II y III D) I, II y III E) sólo II</p>
(3)	17.-	<p>Obtenga el campo eléctrico generado por ambos anillos en un punto del eje z. Considere que el módulo del campo generado solo por el anillo 1 en punto del eje está dada por la expresión:</p> $E = \frac{1}{2\epsilon_0} \frac{\lambda a z}{(z^2 + a^2)^{3/2}}$ <p>donde a es el radio.</p> <p>Debe incluir el desarrollo en orden con los fundamentos del desarrollo.</p>

(1)	18.-	<p>Un filamento recto tiene densidad de carga $\lambda = ax$, con $a > 0$ para $-L \leq x \leq L$. Respecto de esta distribución de cargas ¿Cuáles de las afirmaciones siguientes son correctas?</p> <p>I) <i>La carga neta del filamento es cero.</i> II) <i>Si dl es un segmento infinitesimal del filamento, la carga del segmento es independiente de su posición en el filamento.</i> III) <i>El filamento es equivalente a una superposición de dipolos.</i></p> <p>A) I y II B) I y III C) II y III D) I, II y III E) solo III</p>
-----	------	---

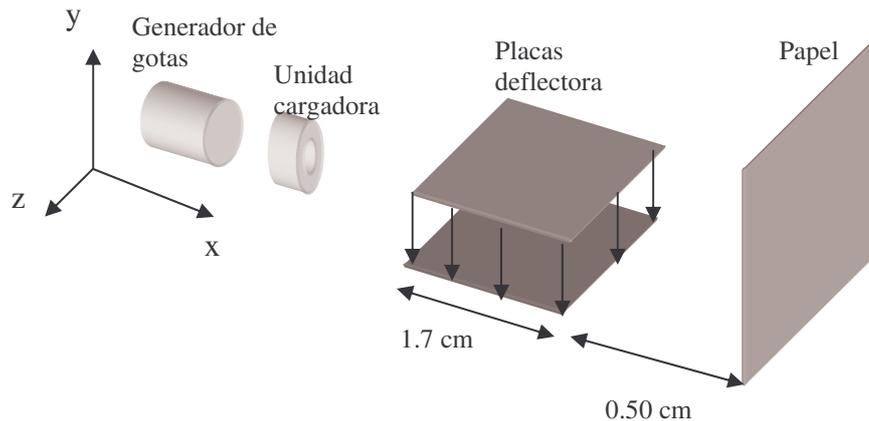
Información para las preguntas 19 a 20

Un filamento recto con $+5.0$ (nC) distribuida uniformemente se encuentra ubicada en el eje X entre $X=10$ cm y $X=20$ cm.

Una partícula con carga de -0.20 (nC) se ubica en el origen del sistema de referencia.

(1)	19.-	<p>En qué dirección y sentido se desplazaría la partícula si se la libera en el origen del sistema de referencia.</p> <p>Respuesta:</p>
(3)	20.-	<p>Obtenga la fuerza eléctrica que la partícula ejerce sobre la varilla. Debe incluir el desarrollo en orden con los fundamentos del desarrollo</p>

Información para las preguntas 21 a 23



En una impresora de inyección de tinta, a las gotas de tinta se le comunica una cantidad controlada de carga antes de pasar a través de un campo eléctrico uniforme vertical confinado a la región entre las placas. Considere que el campo eléctrico entre las placas es de 1.5×10^6 N/C, la masa de cada gota es de 0.12 (ng) moviéndose horizontalmente a 17 m/s.

No tome en cuenta otras fuerzas (gravedad ni resistencia del aire) y trate a la gota como partícula.

(2)	21.-	<p>¿Cuánta es la aceleración de cada gota para que al emerger del campo eléctrico se haya desviado verticalmente 0.50 (mm)? Debe incluir el desarrollo en orden con los fundamentos del desarrollo</p>
(1)	22.-	<p>¿Cuál es la clase de carga de la gota si se desvia verticalmente hacia la placa superior?</p> <p>Respuesta</p>
(2)	23.-	<p>¿Cuánta es la cantidad de carga de cada gota en las condiciones de la pregunta 19? Debe incluir el desarrollo en orden incluyendo los fundamentos del desarrollo</p>

ANEXO 6

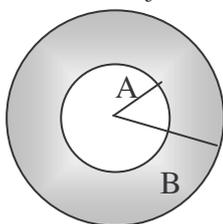
PRUEBA N° 2

Instrucciones:

1. Esta prueba tiene 25 preguntas.
2. El puntaje total de la prueba es de 36 puntos. El puntaje asignado a cada pregunta está en la primera columna. En las respuestas numéricas usted debe incluir la unidad de medida.
3. La nota 4.0 se obtiene con el 50% del puntaje y el 7.0 con el 100% del puntaje.
4. Usted está autorizado para usar el formulario oficial, tabla de integrales y calculadora. No se permite compartir este material.
5. A partir de este momento usted dispone de 2.0 horas para responder la prueba.

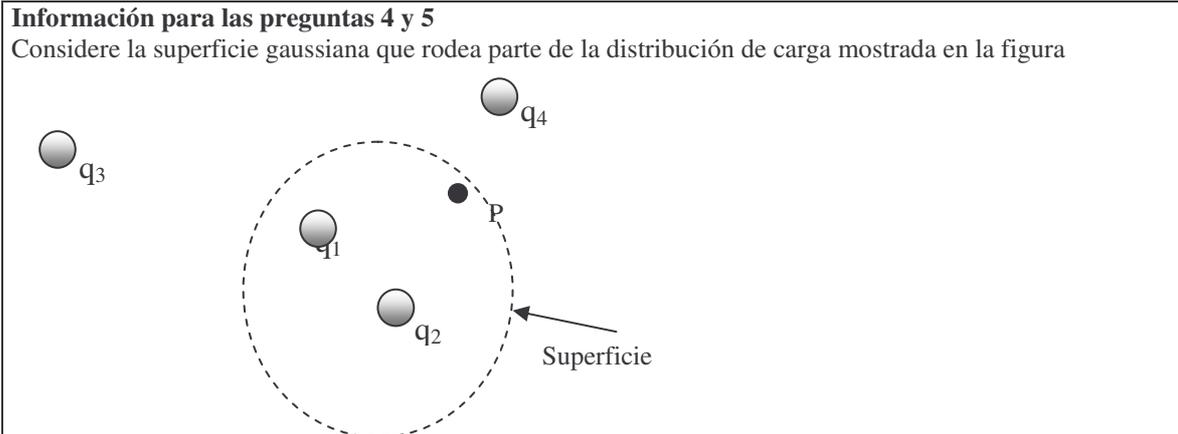
Información para las preguntas 1 a 3

Un casquete **conductor** esférico de radio interior A y radio exterior B, tiene una carga neta de Q. No existen otros objetos en la región

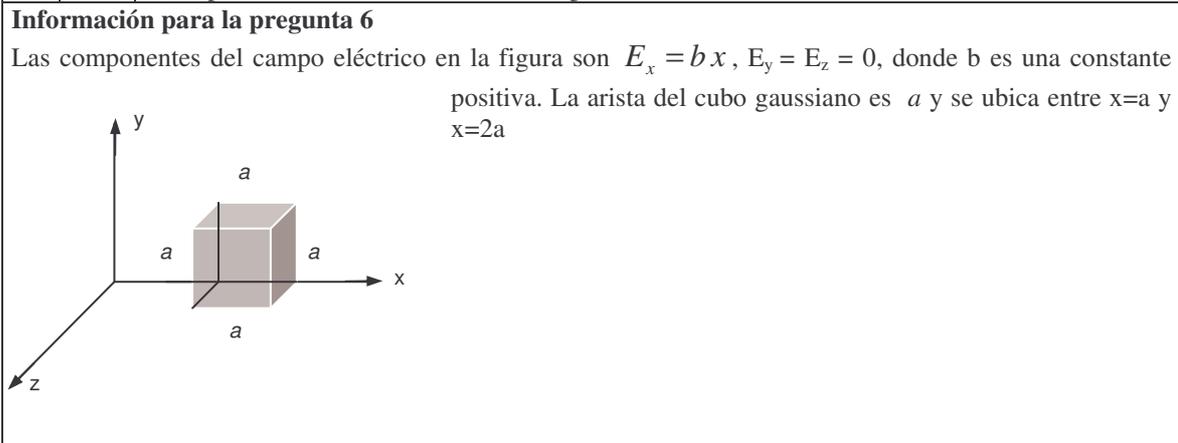


Sea σ_A la densidad de carga en la superficie esférica de radio A
 Sea σ_B la densidad de carga en la superficie esférica de radio B
 Sea ρ la densidad volumétrica de carga

(1)	1.-	<p>¿Cuál de las alternativas siguientes describe mejor la distribución de cargas?</p> <p>A) La carga se distribuye en ambas superficies tal que: $\sigma_A = \frac{-Q}{4\pi A^2} \quad \text{y} \quad \sigma_B = \frac{2Q}{4\pi B^2}$</p> <p>B) La carga se distribuye solo en la superficie interior tal que: $\sigma_A = \frac{Q}{4\pi A^2}$</p> <p>C) La carga se distribuye uniformemente en el volumen del conductor tal que: $\rho = \frac{3Q}{4\pi(B^3 - A^3)}$</p> <p>D) La carga se distribuye solo en la superficie exterior tal que $\sigma_B = \frac{Q}{4\pi B^2}$</p> <p>E) No se puede determinar con la información dada</p>
(1)	2.-	<p>¿Cuál de las alternativas siguientes describe mejor el campo eléctrico entre A y B ?</p> <p>A) Es uniforme B) es radial y decreciente C) es radial creciente D) Es nulo E) ninguna de las anteriores</p>
(1)	3.-	<p>Sea el campo eléctrico en la superficie exterior del conductor (en B), $\vec{E} = E_{\perp} \hat{r} + E_t \hat{\theta}$, donde E_t es la componente tangencial al conductor. ¿Cuál es el valor de E_t?</p> <p>Resp:</p>



(1)	4.-	¿Cuál de las cargas de la distribución contribuye al campo eléctrico en el punto P? A) solo q_1 y q_2 B) solo q_3 y q_4 C) q_1, q_2 y q_4 D) q_1, q_2, q_3 y q_4 E) sólo q_4
(1)	5.-	¿Cuánto es el flujo eléctrico en la superficie gaussiana? A) $\frac{q_1 + q_2}{\epsilon_0}$ B) $\frac{q_1 + q_2 - q_4}{\epsilon_0}$ C) $\frac{(q_1 + q_2) - (q_3 + q_4)}{\epsilon_0}$ D) Depende de la forma de la superficie gaussiana E) Depende de la distancia entre las cargas.



(3)	6.-	Obtenga la carga en el interior de la superficie cúbica. Justifique claramente sus razonamientos Desarrollo:
-----	-----	--

Información para las preguntas 7 a 11
 Un cilindro muy largo, de radio $A = 20$ cm tiene una densidad de carga $\rho = 4.0$ nC/m³ constante. Una superficie gaussiana cerrada también cilíndrica de radio $A/2$ y longitud $H = 5$ cm se ubica coaxial al cilindro cargado. No considere el efecto de los extremos del cilindro cargado.

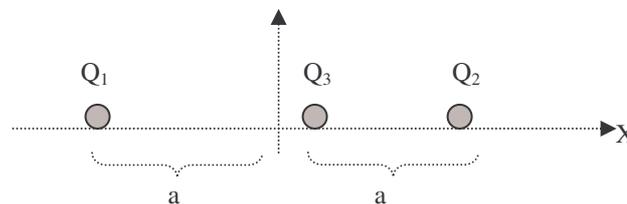
(1)	7.-	¿Cuánto es el flujo eléctrico en cada base del cilindro gaussiano? Resp:
(1)	8.-	Para responder la pregunta 7 usted debe conocer: i) La carga neta del cilindro cargado ii) La carga neta encerrada por el cilindro gaussiano iii) La dirección del campo eléctrico en todo punto del espacio. Es correcto: A) sólo i B) sólo ii C) sólo iii D) i y iii E) ii y iii

(2)	9.-	¿Cuánto es el flujo eléctrico en el cilindro gaussiano? Incluya desarrollo
(1)	10.-	Para responder la pregunta 9, en las condiciones del problema es suficiente con conocer: i) La carga neta del cilindro cargado ii) La carga encerrada por el cilindro gaussiano iii) El campo eléctrico en todo punto del manto del cilindro gaussiano Es correcto: A) sólo i B) sólo ii C) sólo iii D) i y iii E) ii y iii
(3)	11.-	¿Cuánta es la intensidad del campo eléctrico en un punto del manto del cilindro gaussiano? Justifique claramente sus razonamientos

Información para las preguntas 12 a15

Sean Q_1 y Q_2 partículas fijas ubicadas en el eje x, como muestra la figura. $Q_1 = Q_2 = -2e$.
 Sea Q_3 un electrón con libertad de movimiento en el eje x.
 Sea la energía potencial eléctrica del sistema igual a cero, cuando el electrón está infinitamente alejado de Q_1 y de Q_2 .

El electrón se libera en $x = \frac{a}{5}$



(1)	12.-	Si la energía mecánica del sistema es: $\mathcal{E} = n \frac{ke^2}{a}$ ¿Cuál es el valor de n ? A) 0 B) 2 C) 4 D) 25/6 E) 37/6
(1)	13.-	Cuando el electrón pasa por $x = -\frac{a}{5}$ ¿Cuánto vale el cociente entre la energía potencial U y la energía mecánica? A) 0 B) 0.5 C) 1 D) -0.5 E) -1
(1)	14.-	Cuando el electrón pasa por $x=0$ ¿Cuánto vale el cociente entre la energía cinética y la energía mecánica? A) 0 B) 1 C) 1/25 D) 24/25 E) ninguna de las anteriores
(1)	15.-	Si el trabajo realizado por el campo eléctrico cuando Q_3 se desplaza desde $x = \frac{a}{5}$ hasta $x = -\frac{a}{5}$ es $W = n \frac{ke^2}{a}$ ¿Cuál es el valor de n ? A) 0 B) 2 C) 4 D) 25/6 E) 37/6

Información para las preguntas 16 y 17

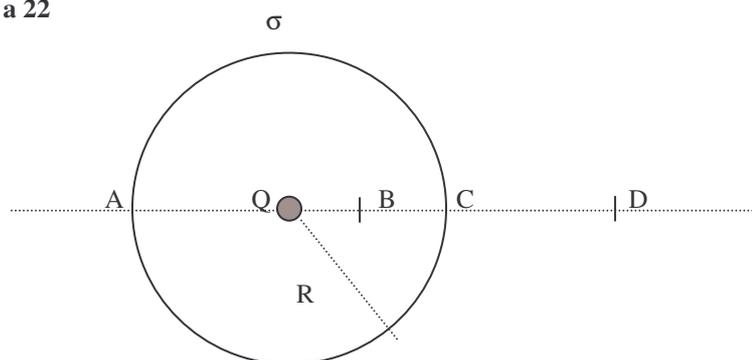
Considere las siguientes ecuaciones:

i) $dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{\|\vec{r} - \vec{r}'\|}$ ii) $E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}$ iii) $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$

(1)	16.-	Se afirma que “dV” es la diferencia de potencial entre dos puntos del espacio separados una distancia infinitesimal en la ecuación: A) i y ii B) i y iii C) ii y iii D) i, ii y iii E) ninguna de ellas
(1)	17.-	Se afirma de “dV” es la diferencia de potencial entre un punto P del espacio y el infinito, generado por una partícula cargada, en la ecuación: A) sólo i B) sólo ii C) sólo iii D) i y iii E) ninguna de ellas
(1)	18.-	Sean A y B dos conductores conectados a una fuente de poder de diferencia de potencial 100 (V). Un electrón se libera en la placa negativa. ¿Cuánta es la energía cinética del electrón cuando llega a la placa positiva? A) 100 (eV) B) No se puede calcular porque no se conoce la distancia entre los conductores C) No se puede calcular porque no se conoce la forma de los conductores D) No se puede calcular porque no se conoce la forma de los conductores y la distancia entre ellos E) Ninguna de las anteriores
(1)	19.-	¿Cuáles de las siguientes afirmaciones son correctas? i) Las líneas de campo eléctrico son perpendiculares a las superficies equipotenciales. ii) El potencial eléctrico disminuye en la dirección y sentido del campo eléctrico. iii) Si el potencial eléctrico en el espacio se describe por la función: $V = ax + b$, entonces el campo eléctrico está en la dirección y sentido de $-\hat{i}$. A) sólo i B) solo ii C) solo iii D) i, ii y iii E) ninguna de ellas

Información para las preguntas 20 a 22

Considere una esfera de radio $R = 0.20$ (m), cargada con densidad superficial de σ . En el centro de la esfera se ubica una carga puntual $Q = 4 \mu C$, como muestra la figura. Los puntos A, B y C se encuentran alineados. A y C están en la superficie de la esfera. Los puntos B y D están a la distancia $R/2$ y $2R$ del centro, respectivamente.

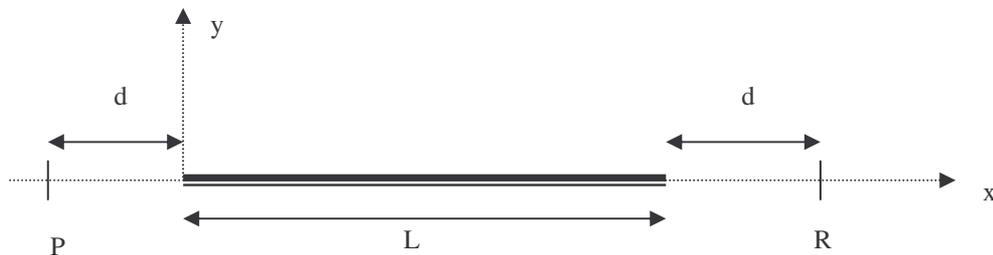


(1)	20.-	¿Cuáles de las siguientes afirmaciones son correctas? i) Los puntos A, B y C se encuentran al mismo potencial ii) La magnitud de la diferencia de potencial entre A y B es mayor que entre B y C iii) Los puntos A y C se encuentran al mismo potencial A) solo i B) solo ii C) solo iii D) i, y iii E) ii y iii
-----	------	--

(2)	21.-	Obtenga la densidad de carga σ , tal que la diferencia de potencial entre C y D es cero. Justifique claramente sus razonamientos
(3)	22.-	Obtenga la diferencia de potencial $V_B - V_A$. Justifique claramente sus razonamientos.
(3)	23.-	El campo eléctrico en el interior de una esfera cargada de radio $R = 20$ cm, uniformemente cargada es : $\vec{E}_{(r)} = \frac{\rho r}{3\epsilon_0} \hat{r}$ ¿Cuánta es la densidad carga ρ de la esfera, si la diferencia de potencial entre la superficie de la esfera y el centro es $V_R - V_0 = 800$ V ? Justifique claramente sus razonamientos

Información para las preguntas 24 y 25

Una barra de longitud L , está a lo largo del eje x , con su extremo izquierdo en el origen.. La barra tiene una densidad de carga uniforme λ .Los puntos P y R están a la distancia d del extremo de la barra respectivamente.



(2)	24.-	Obtenga el potencial eléctrico en el punto P. (respecto del infinito) Justifique claramente sus razonamientos
(1)	25.-	Respecto de los puntos P y R se afirma que: i) $V_P - V_R = 0$ ii) P y R pertenecen a la misma superficie equipotencial iii) P y R pertenecen a la misma línea de fuerza. Es correcto: A) i y ii B) i y iii C) ii y iii D) i, ii y iii E) Ninguna de ellas

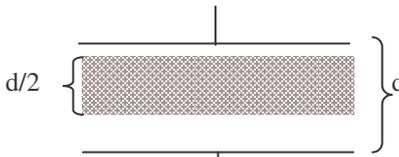
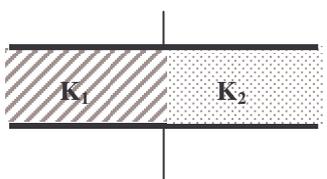
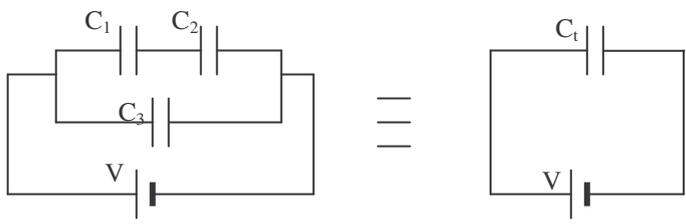
ANEXO 7

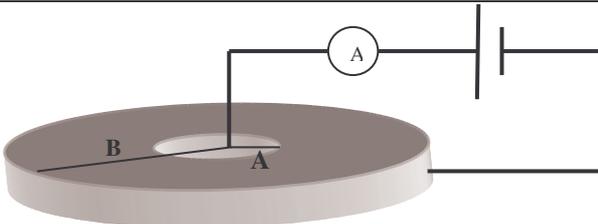
PRUEBA N° 3

Instrucciones:

1. Esta prueba tiene 28 preguntas.
2. El puntaje total de la prueba es de **34** puntos. El puntaje asignado a cada pregunta está indicada en la primera columna. En las respuestas numéricas usted debe incluir la unidad de medida.
3. La nota 4.0 se obtiene con el 50% del puntaje y el 7.0 con el 100% del puntaje.
4. Usted está autorizado para usar el formulario oficial, tabla de integrales y calculadora. No se permite compartir este material.
5. A partir de este momento usted dispone de 2.0 horas para responder la prueba.

(1)	1.-	<p>¿Cuál es el significado físico de “capacidad eléctrica”? Capacidad eléctrica es una medida de:</p> <p>i) La habilidad de un conductor o grupo de conductores para almacenar carga eléctrica. ii) La máxima carga eléctrica que puede retener un conductor o grupo de conductores. iii) El máximo campo eléctrico que puede generar un conductor o grupo de conductores.</p> <p>Es correcto:</p> <p>A) solo i B) solo ii C) solo iii D) ii y iii E) i y iii</p>
(1)	2.-	<p>La máxima carga que puede almacenar un capacitor depende de:</p> <p>i) El tamaño de las placas ii) Su capacidad iii) La rigidez dieléctrica del aislante entre las placas.</p> <p>Es correcto:</p> <p>A) Solo i B) Solo ii C) Solo iii D) i, ii y iii E) Ninguna de ellas</p>
(1)	3.-	<p>En un capacitor de placas plano paralelas cargado y desconectado de la fuente de poder, se disminuye la distancia entre las placas. En el proceso disminuye:</p> <p>i) La carga libre en las placas ii) La energía almacenada en el campo eléctrico entre las placas. iii) La diferencia de potencial entre las placas.</p> <p>Es correcto:</p> <p>A) solo i B) solo ii C) solo iii D) ii y iii E) i y iii</p>
(1)	4.-	<p>Un capacitor de placas plano paralelas se mantiene conectado a una fuente de poder de fem constante. En estas condiciones el espacio entre las placas se llena con un material dieléctrico. En el proceso aumenta:</p> <p>i) La carga libre en las placas. ii) La diferencia de potencial entre las placas iii) La energía almacenada en el campo eléctrico entre las placas.</p> <p>Es correcto:</p> <p>A) Solo i B) Solo ii C) Solo iii D) ii y iii E) i y iii</p>

(1)	5.-	<p>Un condensador de placas plano paralelas separadas una distancia d, tiene una capacidad C_0, cuando el espacio entre las placas es el vacío. Entre las placas se inserta una plancha dieléctrica de constante dieléctrica 3, de igual área que las placas pero de espesor $d/2$. En estas condiciones la capacidad es $C_D = NC_0$ ¿Cuál es el valor de N?</p>  <p>A) 3 B) 8 C) 3/3 D) 2/3 E) 1</p>
(1)	6.-	<p>El condensador de la figura tiene en sus placas una carga libre q. Las placas están desconectadas de la fuente de poder. La región entre las placas está ocupada por dos dieléctricos de constantes dieléctricas K_1 y K_2 respectivamente, con $K_1 < K_2$</p>  <p>Se afirma que:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) La carga eléctrica se distribuye uniformemente en las placas del condensador. ii) El campo eléctrico en ambos dieléctricos tiene igual magnitud, dirección y sentido. iii) El campo eléctrico generado por la carga inducida es mayor en el dieléctrico K_2 que en el dieléctrico K_1. <p>Es correcto:</p> <p>A) sólo i B) i y iii C) ii y iii D) i, ii y iii E) i y ii</p>
(1)	7.-	<p>Sea q_i la carga almacenada en el capacitor C_i</p>  <p>Se afirma que:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) $q_1 = q_2$ ii) $q_1 + q_2 = q_3$ iii) $q_1 + q_3 = q_i$ <p>Es correcto:</p> <p>A) i y ii B) i y iii C) ii y iii D) i, ii y iii E) Ninguna de ellas</p>
(1)	8.-	<p>El condensador $C_1 = C$ tiene carga Q, el condensador $C_2 = 2C$ también tiene carga Q. La placa positiva de C_1 se conecta con la placa positiva de C_2 y la placa negativa de C_1 se une a la placa negativa de C_2. No hay fuentes de poder con los condensadores. Con los condensadores conectados, la carga del condensador C_1 es $Q_1 = nQ$. ¿Cuál es el valor de n?</p> <p>A) $1/2$ B) $2/3$ C) 1 D) $3/2$ E) 2</p>
(1)	9.-	<p>¿Cuál es el significado físico de la “resistencia eléctrica”? Resistencia eléctrica es una medida de:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) La dificultad que presenta la materia para retener carga eléctrica. ii) La oposición que presenta la materia al movimiento de carga eléctrica. iii) La oposición que presenta la materia ante los cambios en la intensidad de la corriente eléctrica.

		Es correcto: A) Solo i B) Solo ii C) Solo iii D) i, ii y iii E) Ninguna de ellas.
(1)	10.-	Un alambre de cobre y otro de plata de la misma longitud y diámetro se conectan en paralelo a una fuente de poder. La resistividad del cobre es mayor que la resistividad de la plata. Se afirma que: i) La caída de tensión en el cobre es mayor que en la plata. ii) El campo eléctrico en el cobre es igual que en la plata. iii) El efecto Joule es mayor en el cobre que en la plata. Es correcto: A) sólo i B) solo ii C) solo iii D) i y iii E) i y ii
<p>Información para las preguntas 11 a 16</p> <p>En una cubeta se colocan dos aros concéntricos de aluminio de radios $A = 25 \text{ mm}$ y $B = 100 \text{ mm}$ y ancho $h = 5 \text{ mm}$. El espacio entre los aros se llena con una sustancia homogénea conductora S de resistividad ρ. Entre A y B se aplica una diferencia de potencial de 10 volts, en cuyo caso el amperímetro registra 25 mA.</p> 		
(1)	11.-	¿Cuánta es la oposición a la circulación de la corriente en la sustancia S? Resp:
(1)	12	¿Qué distancia recorre la corriente en el conductor S? A) 75 mm B) 100 mm C) 25 mm D) 50 mm E) 200 mm
(1)	13.-	Respecto de la sección transversal a la corriente se afirma que es: A) Circular de radio B con una cavidad circular concéntrica de radio A B) Circular de radio creciente entre 25 y 100 mm C) Rectangular de área 75 mm x 5 mm D) Manto cilíndrico de radio creciente desde 25 mm a 100 mm con 5 mm de alto E) Manto cilíndrico de radio constante 75 mm con 5 mm de alto
(1)	14.-	Sea v_1 la velocidad de arrastre de los portadores de carga cuando la corriente entra al conductor S y v_2 la velocidad de arrastre cuando la corriente sale del conductor. Considere el sentido convencional de la corriente eléctrica. ¿Cuánto vale el cociente v_1/v_2 ? A) 1 B) 4 C) 1/16 D) 16 E) 1/4
(3)	15.-	Obtenga la resistividad de la sustancia S. <i>Debe incluir el desarrollo ordenado, explicando los fundamentos físicos necesarios en el desarrollo</i>
(2)	16.-	¿Cuánta es la intensidad del campo eléctrico en un punto ubicado en $r = 50 \text{ mm}$? Desarrollo justificado
(1)	17.-	Una resistencia de 120Ω se conecta a una fuente de poder de 8 V. ¿Qué cantidad de electrones libres pasan por la resistencia en un minuto? Resp:

(1)	18.-	¿Cuánto trabajo por unidad de tiempo realiza una fuente de poder de 4,5 V de fem que mantiene una corriente de 15 mA? Resp:
-----	------	--

Información para las preguntas 19 a 21

Una fuente de poder de fem V y resistencia interna R_i , se conecta una resistencia variable R_L , se mide la caída de tensión en R_L en función de la intensidad de la corriente que circula por R_L , obteniéndose que $V_L = 30 - 12i$ (V está en volt, i está en amper)

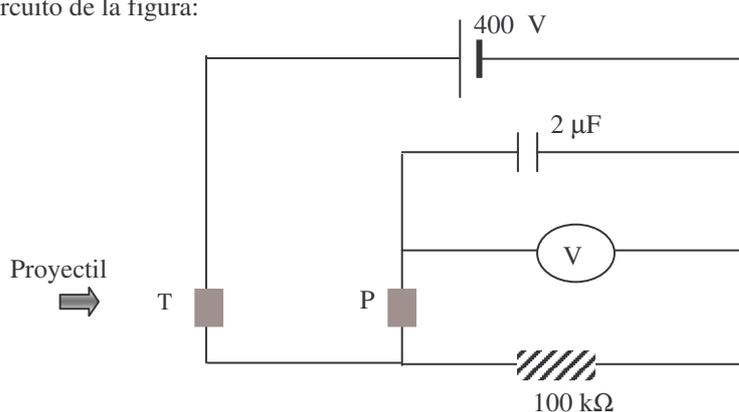
(1)	19.-	¿Cuánta es la fem de la fuente de poder? Fundamente su respuesta.
-----	------	---

(1)	20.-	¿Cuánta es la resistencia interna de la fuente de poder?
-----	------	--

(2)	21.-	¿Cuánta es la máxima corriente que puede proporcionar la fuente de poder? ¿Cuál es el valor de R_L para esta situación?
-----	------	---

Información para las preguntas 22 a 24

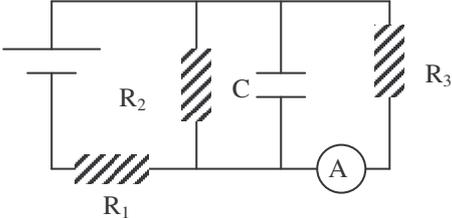
Analice el circuito de la figura:



T y P son cintas conductoras separadas 2 m. Un proyectil se dispara hacia P cortando las cintas T y P. Cuando el proyectil corta la cinta P el voltímetro (ideal) registra 210 V.

(1)	22.-	Antes de que el proyectil corte las cintas. ¿Cuánto marca el voltímetro? A) 210 V B) 400 V C) 0 D) menos de 400 V pero mas de 210 V E) No se puede predecir
-----	------	--

(1)	23.-	Mientras el proyectil viaja entre T y P, (pero aun no llega a P), ¿Cuánto marca el voltímetro? A) 400 V constantes B) 210 V constantes C) El voltaje disminuye exponencialmente entre 400 V y 0 V. D) El voltaje disminuye exponencialmente entre 400 V y 210 V. E) El voltaje disminuye exponencialmente entre 210 V y 0
-----	------	--

(2)	24.-	¿Cuánto tiempo tarda el proyectil en recorrer la distancia entre T y P? Debe incluir desarrollo con fundamentos
Información para las preguntas 25 a 28		
En el circuito de la figura $R_1= 800 \Omega$, $R_2= 600 \Omega$, $R_3= 400 \Omega$ y $C= 50 \mu\text{F}$. El amperímetro registra una corriente constante de 10 mA .		
		
(1)	25.-	¿Cuánta es la intensidad de la corriente por R_2 ? A) 10 mA B) $40/3$ mA C) $20/3$ mA D) $10/3$ mA E) 0
(1)	26.-	¿Cuánta es la intensidad de la corriente que circula por R_1 ? A) $I_1 = I_2$ B) $I_1 = I_2 + I_3 + I_c$ C) $I_1 = I_3$ D) $I_1 = I_2 + I_3$ E) No se puede determinar
(2)	27.-	¿Cuánta es la fem aplicada por la fuente de poder?
(1)	28.-	En las condiciones de la figura, la diferencia de potencial en el condensador es: A) 0 B) Igual a la fem de la fuente de poder C) Igual a la caída de tensión en R_1 D) Igual a la caída de tensión en R_2 E) Igual a $V_{R3}-V_{R2}$

ANEXO 8

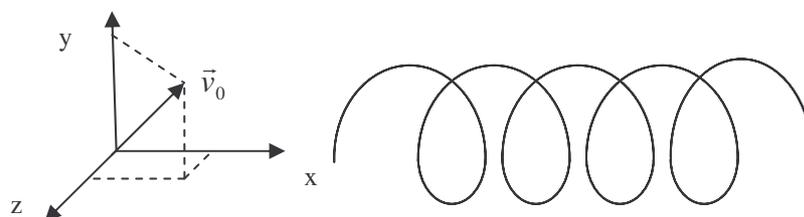
PRUEBA N° 4

Instrucciones:

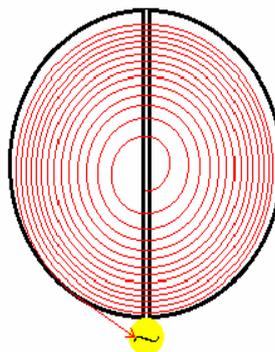
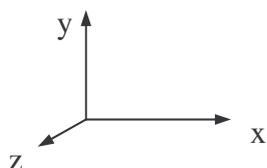
1. Esta prueba tiene 27 preguntas.
2. El puntaje total de la prueba es de 41 puntos. El puntaje asignado a cada pregunta está indicado en la primera columna. En las respuestas numéricas usted debe incluir la unidad de medida..
3. La nota 4.0 se obtiene con el 50% del puntaje y el 7.0 con el 100% del puntaje.
4. Usted está autorizado para usar el formulario oficial, tabla de integrales y calculadora. No se permite compartir este material.
5. A partir de este momento usted dispone de 2.0 horas para responder la prueba.

Información para las preguntas 1 y 2

Un haz de partículas positivas ingresa a una región de campo magnético con velocidad inicial \vec{v}_0 . Las partículas describen la trayectoria helicoidal que se muestra en la figura.



(1)	1.-	Del análisis de la trayectoria se deduce que la dirección y sentido del campo magnético es: A) \hat{i} B) \hat{k} C) $-\hat{j}$ D) $-\hat{k}$ E) en el plano XZ positivo
(1)	2.-	Del análisis de la trayectoria se deduce que la intensidad del campo magnético es: A) Constante en la región en la que se mueve el haz de partículas. B) Aumenta en la dirección y sentido de \hat{j} solamente. C) Disminuye en la dirección y sentido de \hat{j} solamente. D) Constante en la dirección y sentido de \hat{i} solamente E) No es posible que un haz de partículas siga esta trayectoria con solo la acción de campo magnético.
(2)	3.-	Describa y explique dos diferencias entre el campo electrostático y el campo magnetostático

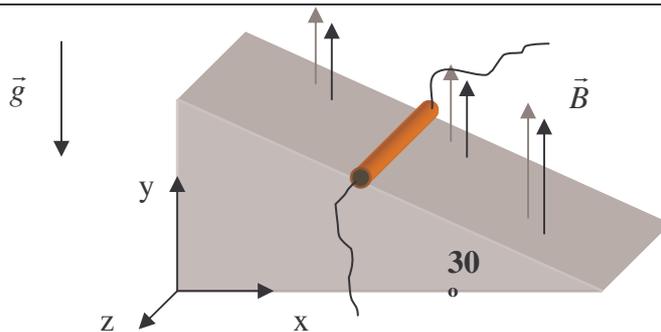
Información para las preguntas 4 a 10


La figura muestra una parte de un ciclotrón. Este aparato proporciona protones con una energía cinética de **10 MeV**. La diferencia de potencial suministrada por la fuente de poder es de **5.0×10^4 (V)** y la intensidad del campo magnético en la región es de **1.4 (T)**. La trayectoria de los protones está en el plano XY

(1)	4.-	<p>¿Cuál es la dirección y sentido del campo magnético?</p> <p>A) $+\hat{k}$</p> <p>B) $-\hat{k}$</p> <p>C) Cambia periódicamente entre $+\hat{k}$ y $-\hat{k}$</p> <p>D) Cambia periódicamente entre $+\hat{i}$ y $-\hat{i}$</p> <p>E) paralela al plano xy</p>
(2)	5.-	<p>¿Cuánto es el radio del ciclotrón? <i>Debe incluir desarrollo en orden con sus fundamentos físicos</i></p>
(1)	6.-	<p>¿Cuántos giros completos realiza el protón en el ciclotrón?</p> <p>A) 50 B) 100 C) 200 D) 400 E) 500</p>
(1)	7.-	<p>¿Con qué frecuencia se alterna el sentido del campo eléctrico en el ciclotrón?</p> <p>Resp:</p>
(1)	8.-	<p>Para responder la pregunta 7, hay que considerar que la frecuencia con que cambia el sentido del campo eléctrico:</p> <p>i) Es igual a la frecuencia con que gira el protón en el ciclotrón.</p> <p>ii) Debe aumentar en forma proporcional con el incremento de la velocidad del protón.</p> <p>iii) Es igual a la frecuencia con que alterna el sentido del campo magnético.</p> <p>Es correcto:</p> <p>A) Solo i B) Solo ii C) Solo iii D) i y ii E) i y iii</p>
(1)	9.-	<p>¿Cuánto trabajo realizó el campo magnético sobre cada protón desde que se inyectan en el ciclotrón hasta que salen de él?</p> <p>A) 5×10^4 eV B) 10 MeV C) 200 eV D) 2.5×10^4 eV E) 0</p>
(1)	10.-	<p>¿Cuánto trabajo realizó el campo eléctrico sobre cada protón desde que se inyectan en el ciclotrón hasta que salen de él?</p> <p>A) 5×10^4 eV B) 10 MeV C) 200 eV D) 2.5×10^4 eV E) 0</p>

Información para las preguntas 11 y 12

Una varilla de longitud $L = 12 \text{ cm}$ y masa $m = 20 \text{ g}$ está en un plano inclinado 30° respecto de la horizontal. Una corriente entra y sale de la varilla por alambres flexibles y ligeros que se ignoran, como muestra la figura. En la región existe un campo magnético uniforme $\vec{B} = 0.20\hat{j} \text{ (T)}$. La varilla se encuentra en reposo. Ignore el roce mecánico



(1) 11.- Sea F_B el módulo de la fuerza que el campo magnético ejerce sobre el conductor. ¿Cuánto vale el cociente F_B/mg ?

- A) 1 B) $\cos 30^\circ$ C) $\sin 30^\circ$ D) $\text{tg } 30^\circ$ E) $\text{tg } 60^\circ$

(3) 12.- ¿Cuánta es la intensidad de la corriente que fluye por la varilla? ¿En qué sentido? **Desarrollo ordenado con sus fundamentos físicos**

(1) 13.- Después que dos electrones se liberan, se mueven en trayectorias rectilíneas colineales, en todo instante la energía cinética de un electrón es igual a la del otro. De la dinámica de los electrones **se puede concluir** que en todo punto de las trayectorias:



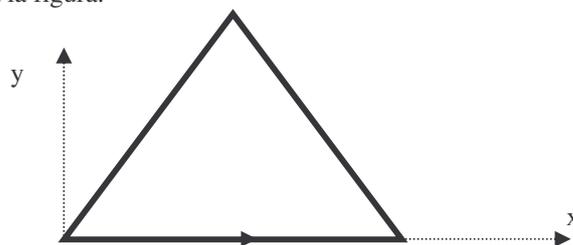
- i) No existe campo eléctrico ni campo magnético.
- ii) Podría existir un campo eléctrico perpendicular a un campo magnético tal que $\vec{F}_E + \vec{F}_M = \vec{0}$
- iii) Podría existir un campo magnético en la dirección del movimiento de los electrones.

Es(son) correcta(s):

- A) Solo i B) Solo ii C) solo iii D) i y ii E) i , ii y iii

Información para las preguntas 14 y 15

Sea un lazo de corriente con forma de triángulo equilátero de lado $L = 10 \text{ cm}$, el cual lleva una corriente continua $I=5 \text{ A}$, como muestra la figura.



Sea B_1 la intensidad del campo magnético en el centro del triángulo, generado por el lado del triángulo ubicado en el eje X.

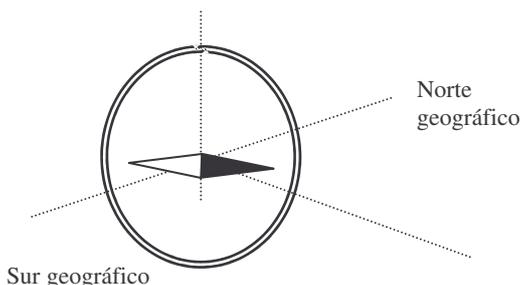
(1) 14.- La intensidad del campo magnético, en el centro del triángulo es:

- A) B_1 B) $3 B_1$ C) 0 D) $3 B_1 \cos 30^\circ$ E) $3 B_1 \sin 30^\circ$

(2)	15.-	El lazo de la figura se ubica en un campo externo uniforme $\vec{B} = 20 \times 10^3 \hat{i}$ (T). ¿Cuánto es el torque sobre el lazo? ¿Qué efectos produce dicho torque en el lazo? <i>Desarrollo ordenado con sus fundamentos físicos</i>
-----	------	---

Información para las preguntas 16 a 17

Una bobina circular plana de **250 vueltas** y **12 cm** de radio esta ubicada en el plano vertical tal que el diámetro coincide con la dirección norte-sur geográfico. En el centro de la bobina se ubica una brújula que sólo puede girar en el plano horizontal.



(1)	16.-	¿En qué dirección se orienta la brújula si no circula corriente por la bobina? Resp:
-----	------	---

(3)	17.-	Aplicando la ley de Biot-Savart , obtenga el campo magnético en el centro de la bobina. <i>Desarrollo ordenado con sus fundamentos físicos.</i>
-----	------	--

(2)	18.-	¿Cuánta es la intensidad de la corriente en la bobina, si la brújula se orienta 35° respecto del norte geográfico? Considere que la componente horizontal del campo magnético terrestre es de 1.87×10^{-5} (T) Respuesta:
-----	------	--

(1)	19.-	Respecto del flujo magnético en una superficie cerrada se afirma que: A) Es cero solo si en el interior de la superficie no hay fuentes de campo magnético. B) Es cero solo si en el interior hay imanes permanentes. C) Es directamente proporcional con la intensidad de la corriente encerrada por la superficie D) Es cero solo si la superficie es ferromagnética E) Ninguna de las anteriores
-----	------	--

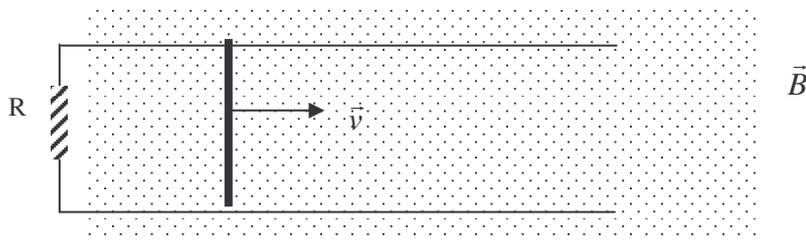
Información para la pregunta 20

Una partícula de masa $m = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ y carga $q = +1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, está en una órbita circular de radio $R = 2 \text{ cm}$, perpendicular a un campo magnético externo $B = 10 \text{ mT}$

(4) 20.- Aplicando la **ley de Biot y Savart**, obtenga el campo magnético generado por la partícula en el centro de su órbita. *Desarrollo ordenado con sus fundamentos físicos*

Información para las preguntas 21 a 23

Una varilla metálica de masa m y longitud d , se desliza por rieles sin roce de resistencia despreciable que terminan en una resistencia R . El circuito se encuentra en un campo magnético uniforme B , dirigido hacia fuera de la página. La velocidad inicial de la varilla es \vec{v}_0 . No hay un agente externo que aplique fuerza a la varilla.



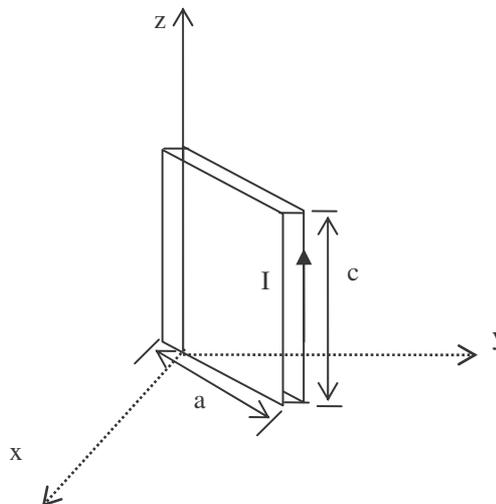
(1) 21.- ¿Cuál es el sentido de la corriente en la varilla? ¿Por qué?
Resp:

(3) 22.- ¿Qué distancia recorre la varilla hasta detenerse?. *Desarrollo ordenado con sus fundamentos físicos.*

(2) 23.- ¿Cuánta energía se disipó en el circuito? *Fundamente su respuesta.*

Información para las preguntas 24 a 27

Una bobina rectangular tiene **50 vueltas** y lados $a = 30 \text{ cm}$ y $c = 50 \text{ cm}$. La bobina puede girar alrededor del eje Z y su momento dipolar magnético está a -35° respecto del campo magnético. El campo magnético en la región es uniforme $\vec{B} = 25 \hat{i} \text{ mT}$. La corriente que circula por la bobina es de $2,0 \text{ A}$.



(1)	24.-	¿Cuánta es la fuerza magnética sobre el lado de la bobina paralelo al eje de giro? A) 0 B) $14 \times 10^{-3} \text{ N}$ C) $25 \times 10^{-3} \text{ N}$ D) 0,72 N E) 1,25 N
(1)	25.-	¿Cuánto es el momento dipolar magnético de la bobina, en unidades del S.I.? A) 0,30 B) 0,375 C) $7,5 \times 10^{-3} \text{ N}$ D) 8,6 E) 15
(1)	26.-	¿Qué orientación debe tener el lado de la bobina para que el torque sobre ella sea máximo? A) XY B) XZ C) YZ D) El torque es constante, no depende de la orientación de la bobina E) El torque es cero, cualquiera sea la orientación de la bobina
(1)	27.-	La interacción entre la bobina y el campo magnético hace que la bobina: A) Gire como un motor en torno del eje Z B) Gira 35° hasta que el plano de la bobina coincide con el plano YZ C) Gira 55° hasta que el plano de la bobina coincide con el plano YZ D) Gira menos de 35° , dependiendo de la intensidad de la corriente E) Ninguna de las anteriores