

CONOCIMIENTO PREVIO EN FÍSICA DE ESTUDIANTES DE INGENIERÍA

LLANCAQUEO HENRÍQUEZ, ALFONSO¹, CABALLERO SAHELICES, M. CONCESA²
y ALONQUEO BOUDON, PAULA³

¹ Departamento de Ciencias Físicas. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile

² Departamento de Física. Universidad de Burgos, España

³ Departamento de Educación. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile

allanca@ufro.cl.

concesa@ubu.es.

palonque@ufro.cl.

Resumen. Se presentan resultados de un estudio de conocimiento previo en física, con estudiantes de primer año de ingeniería de la Universidad de La Frontera, Chile, en el marco de la teoría de campos conceptuales de Vergnaud, desarrollada para el estudio de aprendizaje de conceptos científicos. El propósito del estudio fue determinar niveles de comprensión de conceptos de física que describan la estructura del conocimiento previo de los estudiantes en un curso inicial de física, a partir del uso de los conceptos *a)* En situaciones de contexto cotidiano, *b)* En la comprensión de un texto de divulgación científica, y *c)* En situaciones y problemas de contexto académico. Los resultados obtenidos confirman bajos niveles de comprensión de los estudiantes al enfrentar situaciones y lecturas que demandan una conceptualización científica aceptable. Se observa un predominio de aspectos procedimentales de las operaciones y escaso uso de significados de mayor riqueza conceptual.

Palabras clave. Situaciones, estructura del conocimiento previo, aprendizaje, conceptos físicos.

Undergraduate students' previous knowledge of Physics

Summary. Some research results of a study on previous knowledge in Physics, carried out with first year engineering students at the University of The Frontera, Chile are presented. Vergnaud's Conceptual Fields Theory is used to discover the way to learn scientific concepts. The purpose of the study was to determine comprehension levels of concepts of physics, which describe the structure of the previous knowledge students had in an initial course of Physics, from the use of concepts: *a)* In situations of daily context, *b)* In the comprehension of a text of scientific dissemination, and *c)* In situations and problems of academic context. The obtained results confirm low levels of understanding of the students when facing situations and readings which require a scientific acceptable conceptualization. A predominance of procedural aspects of the operations and limited use of meanings of major conceptual richness is observed.

Keywords. Situations, previous knowledge structure, learning, physical concepts.

INTRODUCCIÓN

En la perspectiva del mejoramiento de la calidad de la enseñanza de física, de proveer oportunidades reales para el aprendizaje de la física a los estudiantes que ingresan a carreras de ingeniería en la Universidad de La Frontera, Chile, se realizó un estudio de conocimientos en física de los estudiantes al inicio del primer curso de física, con el fin de caracterizar el conocimiento previo,

describir niveles de comprensión de los significados científicos de los conceptos e identificar disposiciones de aprendizaje. Lo anterior implica indagar sobre cuáles son las representaciones de conocimiento de física de los estudiantes al comenzar su aprendizaje en la universidad. Sin embargo, este acervo no se refiere sólo a los conocimientos de física que los estudiantes pudieran

traer de la enseñanza media, sino que en general, considera comprensiones que están en los estudiantes tanto como efecto de su enseñanza como de sus peculiaridades culturales. De este modo, el sentido de este estudio es más amplio que una investigación orientada sólo a determinar los conocimientos escolares previos. Además, se espera que sus resultados permitan dar cuenta en forma sistematizada del punto de inicio en que se encuentran los estudiantes más avanzados y menos avanzados. Es decir, se trata de establecer el punto de inicio para un proceso de enseñanza que permita avanzar a los estudiantes en el desarrollo conceptual de la física (Moreira, 2000; 2004).

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La estructura y organización de este estudio considera tres aspectos. El primero se refiere a una exploración de la comprensión de los significados científicos que los estudiantes tienen acerca de un conjunto de conceptos de física enseñados en la educación secundaria. El propósito fue indagar qué representación de conceptos como energía y fuerza tiene un estudiante y cómo comprende estos conceptos en situaciones de contexto cotidiano. La importancia de identificar estas representaciones consiste, como lo muestran numerosas investigaciones, en que éstas se arraigan poderosamente en la mente de los estudiantes desde una edad muy temprana y, muchas veces, el aprendizaje memorístico de los contenidos no logra desplazarlas durante toda su enseñanza (Driver, Guesne, Tiberghien, 1985; Driver, Squires, Rushworth y Wood-Robinson, 1999; Pozo y Gómez Crepo, 1998; Pozo, 1999; Duit, 2003). Estas representaciones constituyen obstáculos poderosos que dificultan el aprendizaje de los conceptos y la comprensión de fenómenos descritos por la física. Por lo tanto, si se considera que todo aprendizaje contiene comprensiones culturales para los estudiantes, el conocimiento de éstas ayudaría a un profesor a tener claridad de estas comprensiones para sus estudiantes; esto facilitaría el diseño de actividades de aprendizaje que den a los estudiantes posibilidades para acceder a un conocimiento de la física distinto al contenido en su saber cotidiano.

El segundo aspecto investigado se refiere a la comprensión de significados científicos de conceptos de física expresados en un texto. Se trata de averiguar si los estudiantes comprenden el lenguaje de la física, si pueden comunicar y explicar los fenómenos usando este lenguaje, para así conocer sus comprensiones y lo que pueden escribir y explicar. Este planteamiento obedece a que, en muchas ocasiones, los estudiantes no comprenden los significados y estructuras simbólicas contenidos en el lenguaje de la física, lo cual obstaculiza el logro de aprendizajes significativos de la física (Vergnaud, 1998).

El tercer aspecto se refiere a una exploración de la comprensión de los significados científicos de los conceptos por parte de los estudiantes, al enfrentar situaciones y problemas de contexto académico. El propósito es conocer la comprensión de significados y habilidades procedimentales de los estudiantes, que se

supone deberían haber logrado en la enseñanza media. Muchas veces, por diversos motivos, estas habilidades de comprensión y procedimientos no se han logrado. Por ejemplo, es común que muchos estudiantes no puedan explicar determinados fenómenos o resolver problemas, usando conocimientos y procedimientos de la física que se presuponen aprendidos con la enseñanza. Conocer estas habilidades de comprensión y procedimientos es un requisito necesario para que en la universidad se diseñe una enseñanza que impacte efectivamente en la progresividad del aprendizaje significativo de los estudiantes (Caballero, 2004; Moreira, 2000). En resumen, el estudio realizado estuvo orientado a hacer explícitos los significados y grados de comprensión que los estudiantes tienen al inicio de un curso de física en la universidad.

Como referencial teórico para determinar los grados de comprensión de conceptos de física que caracterizan el conocimiento previo de los estudiantes, se adoptó usar la teoría de campos conceptuales de Vergnaud. Esta teoría tiene por premisa que el conocimiento se encuentra organizado en campos conceptuales de los que los sujetos se apropian a lo largo del tiempo. Los campos conceptuales se definen como conjuntos informales y heterogéneos de situaciones y problemas, que para su análisis y tratamiento requieren diversas clases de conceptos, representaciones simbólicas, operaciones de pensamiento y procedimientos que se conectan entre sí durante su aprendizaje (Vergnaud, 1981; 1990).

Esta teoría permite analizar la relación entre los conocimientos explícitos, de los conceptos construidos por las disciplinas, e implícitos del comportamiento de los sujetos al enfrentar situaciones. Además, permite analizar las relaciones entre los significados y significantes de un concepto (Vergnaud, 1990).

En este enfoque, una situación es entendida como una combinación de tareas y problemas que determinan los procesos cognitivos y las respuestas de un sujeto (Vergnaud, 1990); éste, a través de su acción y dominio progresivo de situaciones, adquiere los campos conceptuales que modelan su conocimiento. Así, el papel de la enseñanza es fundamental, pues a través de ésta se intenta establecer una interacción entre los esquemas de los estudiantes y los campos conceptuales de la física descritos científicamente. Desde el punto de vista de Vergnaud (1996), el aprendizaje 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. 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 tales procesos (Riviere, 1994).

En este sentido, Vygotsky (1995) plantea que los conceptos científicos se distinguen de los cotidianos en que los primeros tienen un valor mayor de generalidad y forman sistemas integrados. Se transmiten en instituciones educativas a través de la acción intencionada del 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. Vergnaud destaca la importancia de esta distinción entre conceptos cotidianos y científicos, pues la expresión de estos 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 contenidas en los esquemas (Vergnaud, 1996). 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, 1998).

La relación existente entre aprendizaje y desarrollo cognitivo se explica a través del concepto de *zona de desarrollo próximo* (ZDP). Vygotsky planteaba que el aprendizaje se produce sólo cuando los instrumentos, signos, símbolos y 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 (Vygotsky, 1989). 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 (Rivière, 1994).

De acuerdo con una interpretación de la teoría de Vergnaud, un campo conceptual de conceptos de física estaría compuesto por: $C = \{S, I, R\}$. Donde, $S = \{FF\}$: es un conjunto de situaciones que incluye fenómenos y problemas físicos (*FF*) que dan sentido a los conceptos en algún dominio específico de la física, como la mecánica, electromagnetismo u otros. $I = \{I(FF) \cup I(OM)\}$: es un conjunto de invariantes operatorios físicos $I(FF)$ y matemáticos $I(OM)$, científicamente aceptados, que se aplican a las situaciones, es decir, se aplican tanto a los problemas y fenómenos físicos *FF* como a los objetos matemáticos *OM*. $R = \{R[(FF) \cup I(FF) \cup I(OM)]\}$: es

un conjunto de representaciones simbólicas y pictóricas usadas en los problemas y situaciones *FF*, más las representaciones simbólicas de los invariantes operatorios físicos $I(FF)$ y matemáticos $I(OM)$, o sea, las representaciones de los principios y leyes físicas, junto con las operaciones matemáticas y sus propiedades (Llancaqueo, Caballero y Moreira, 2003).

Por lo tanto, aplicar la teoría de los campos conceptuales a investigaciones sobre aprendizaje de conceptos de física supone enfrentar a los participantes a situaciones y problemas presentados en diferentes formatos representacionales (imágenes, gráficas, textos), para investigar los invariantes operatorios usados para comprender y explicar las representaciones simbólicas que ayudan a la conceptualización de los significados de los conceptos (Moreira, 2002; Greca y Moreira, 2002). En consecuencia, el presente estudio busca establecer la zona de desarrollo real (ZDR) o punto de inicio para un proceso de enseñanza en la ZDP que permita avanzar en el desarrollo y aprendizaje significativo de los estudiantes y en acuerdo con las demandas del currículo.

METODOLOGÍA

Participantes

La muestra estuvo formada por 198 estudiantes de las asignaturas de *Física General e Introducción a la Física* de carreras de ingeniería de la Universidad de La Frontera, Chile, año 2004, distribuidos como se describe en la tabla 1. Del total de estudiantes participantes, 157 son hombres y 41 mujeres, con edades entre los 17 y 22 años. Las mayores frecuencias de edad corresponden a 18 años (65 %), 19 años (15 %) y 17 años (12 %). Por otra parte, el 81 % de los participantes egresó de la enseñanza media el año anterior y el 64 % de los estudiantes mencionó haber tomado un curso electivo de física. Además, en la tabla 1 se presentan los puntajes de selección máximos, mínimos y promedios en las carreras participantes.

Tabla 1

Distribución de estudiantes y puntajes de ingreso en las carreras de ingeniería participantes en el estudio.

CARRERAS	FÍSICA GENERAL	INT. FÍSICA	PUNTAJE DE SELECCIÓN		
			Máximo	Mínimo	Promedio
Ingeniería Civil Industrial, Bioprocesos (ICIB)	29		823,20	555,95	652,80
Ingeniería Civil Industrial, Informática (ICII)	76		771,86	599,29	653,04
Ingeniería Civil Electrónica (ICE)	34		730,38	515,34	607,17
Ingeniería Matemática (IM)	29		667,59	486,20	562,15
Ingeniería Ejecución Electrónica (IEEa)		30	693,15	489,62	562,41
Total participantes	168	30			

Fuente: Oficina de Admisión y Matrícula UFRO, 2004.

Instrumento

Considerando que no se disponía de un instrumento para obtener datos que permitieran analizar y caracterizar el conocimiento previo y los grados de comprensión de los significados científicos de los estudiantes, en el sentido descrito por la teoría de Vergnaud, se procedió a elaborar un instrumento *ad-hoc* para la realización de este estudio. Se seleccionaron dos lecturas tomadas de textos de divulgación científica y se diseñaron una serie de situaciones con tareas y problemas de lápiz y papel, de las cuales se seleccionaron diez para la construcción definitiva de un cuestionario de lápiz y papel (Anexo 1). En el cuestionario se presentan situaciones con un formato diverso, con preguntas de respuesta abierta, de modo que los datos obtenidos permitan inferir aspectos de las representaciones y significados de los conceptos usados por los estudiantes para dar cuenta de las situaciones y

lecturas. La descripción de las situaciones y las lecturas se presentan en la tabla 2.

Procedimiento

El cuestionario se administró colectivamente en una sala de clase a grupos de estudiantes de ingeniería de los cursos de Física General e Introducción a la Física de la Universidad de La Frontera. La aplicación tuvo una duración de 60 minutos aproximadamente.

Análisis de datos

Los datos obtenidos con la aplicación del instrumento fueron sometidos a un proceso de codificación, y se establecieron cuatro categorías de desempeño que reflejaran

Tabla 2
Contenidos de las situaciones y lecturas del instrumento.

Uso de conceptos en situaciones de contexto cotidiano			
Situación	Conceptos	Descripción	Pregunta
S1	Fuerza y movimiento	Uso del concepto de <i>fuerza</i> para explicar un movimiento	P1 y P2
S2	Fuerza y energía	Significado de los conceptos de <i>fuerza</i> y <i>energía</i>	P3 y P4
S3	Ondas electromagnéticas	Comprensión de un modelo que explique la comunicación inalámbrica	P5
Uso de conceptos en la comprensión de un texto			
Lectura	Conceptos	Descripción	Pregunta
L1	Densidad, masa y volumen	Uso y comprensión de los conceptos de <i>densidad</i> , <i>masa</i> y <i>volumen</i> en el contexto de una situación presentada en un texto	P6 , P7 y P8
L2	Conservación de la energía	Comprensión de analogías para una magnitud conservada	P9, P10 y P11
Uso de conceptos en situaciones y problemas de contexto académico			
Situación	Conceptos	Descripción	Pregunta
S4	Fuerza normal y movimiento	Comprensión del concepto de <i>fuerza normal</i> y sus significados para explicar el movimiento curvilíneo de un cuerpo	P12
S5	Fuerza de gravedad, masa y energía	Comprensión de los conceptos de <i>fuerza de gravedad</i> , <i>masa</i> , <i>aceleración</i> y <i>energía</i> en una situación de caída libre	P13 y P14
S6	Centro de gravedad y equilibrio	Comprensión de conceptos y leyes de la mecánica para describir y explicar una situación de equilibrio	P15
S7	Reflexión de la luz y visión	Comprensión de un modelo para la visión basado en la reflexión de la luz	P16
S8	Equilibrio térmico	Representación y significados de los conceptos de <i>temperatura</i> y <i>equilibrio térmico</i>	P17
S9	Transferencia calor	Comprensión y significados del proceso de transferencia del calor por conducción	P18
S10	Principios de Newton	Comprensión principios de Newton para explicar el estado de reposo o movimiento de un cuerpo Comprensión del principio de acción y reacción para describir y explicar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo Comprensión de la ecuación de movimiento para explicar y predecir la evolución de un movimiento	P19, P20, P21 y P22

de manera jerárquica el uso de los significados usados por los estudiantes en su interacción con los contenidos e información de las situaciones y lecturas. La codificación de las respuestas se realizó mediante una escala de puntaje de desempeño de 0 a 4, donde el valor 0 corresponde a no contesta; 1 a un desempeño de desacuerdo con significados científicos de los conceptos; 2 en acuerdo parcial mínimo con significados científicos de los conceptos; 3 en acuerdo parcial y 4 de acuerdo con significados científicos. La puntuación máxima posible fue 88, y en el anexo 2 se presentan, a modo de ejemplo, criterios de corrección usados para evaluar el desempeño de los estudiantes en las situaciones y lecturas del instrumento. La justificación de estos criterios es poder identificar la disponibilidad de significados científicos en la estructura conceptual de los estudiantes, para aproximarse así a una determinación de los grados de comprensión de su conocimiento previo.

Para investigar la calidad de los puntajes, se realizó un análisis de coherencia mediante el coeficiente α (Cronbach, 1967), que mide la parte estable, confiable y común de los ítems. La síntesis del análisis de fiabilidad se presenta en la tabla 3.

Por lo tanto, dado que con este instrumento se intenta medir aspectos de las representaciones de los estudiantes largamente implícitos, se estima que el valor $\alpha = 0,80$ indica que los puntajes generados son estadísticamente confiables. La validación de contenido del cuestionario se realizó mediante un análisis de contenidos de las situaciones y lecturas y de los supuestos que le dieron origen (Silveira, 1981). El instrumento se sometió al juicio de cinco profesores del curso de física general, procurando lograr un consenso de los contenidos del instrumento (Silveira, 1993).

RESULTADOS

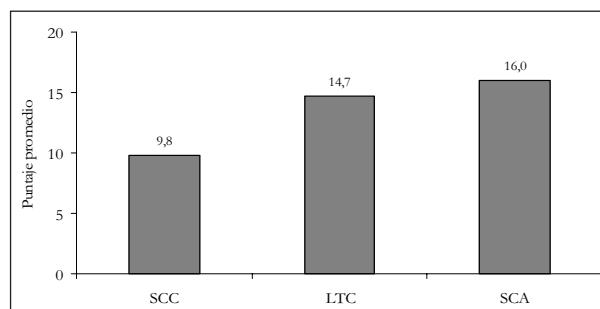
Los resultados obtenidos se presentan en dos partes. La primera parte se refiere a la descripción del puntaje obtenido por los estudiantes en las diferentes secciones del instrumento. La segunda parte describe y presenta la asignación de niveles de comprensión de los conocimientos de física de los participantes.

Descripción del puntaje promedio de desempeño

De toda la información obtenida con la aplicación del instrumento, en la figura 1 se presenta el puntaje promedio obtenido por la población de estudiantes en cada sección; el puntaje máximo posible de obtener en cada sección es:

Sección 1: *Situaciones de contexto cotidiano* (SCC) 20 puntos, Sección 2: *Lecturas de textos científicos* (LTC) 24 puntos y Sección 3: *Situaciones y problemas de contexto académico* (SCA) 44 puntos, total 88 puntos.

Figura 1
Distribución puntaje promedio en cada sección.



Los valores de puntaje promedio de la población de estudiantes en cada sección, normalizados en una escala de 0,00 a 1,00, representan desempeños de 0,49 en SCC; 0,61 en LTC y 0,36 en SCA. Según estos resultados, el mayor desempeño de los estudiantes es en la sección de comprensión de textos de divulgación científica, seguido del desempeño en la sección de situaciones de contexto cotidiano, y el menor en la sección de situaciones y problemas de contexto académico. Este mismo patrón de comportamiento para el desempeño por sección, se observa en todas las carreras, como se muestra en la figura 2. Además, las carreras ICIB e ICII se destacan por tener valores de desempeño mayor al desempeño promedio de la población de estudiantes en todas las secciones del estudio.

Figura 2
Desempeño promedio por carrera en cada sección.

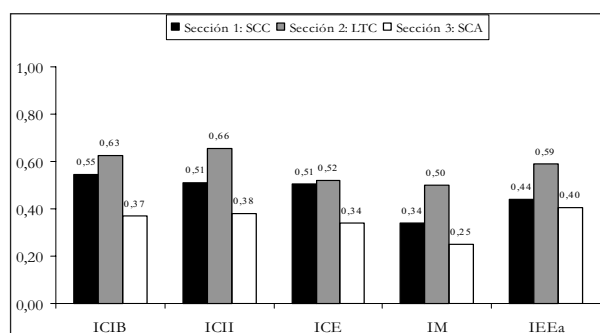


Tabla 3
Síntesis del análisis de fiabilidad.

PUNTAJE TOTAL	MEDIA PUNTAJE TOTAL	DESVIACIÓN TÍPICA	Nº ÍTEM	COEFICIENTE α
88	40,55	11,76	22	0,80

Por otra parte, si se comparan los desempeños por carrera respecto al desempeño promedio de la población en cada sección, se encuentra que tres carreras ICIB, ICII e ICE tienen desempeños superiores al promedio de la población en la Sección 1. Esto mismo se cumple en la Sección 2 con las carreras ICIB e ICII; y en la Sección 3 con las tres carreras ICIB, ICII y IEE.

Niveles de comprensión

Con el propósito de determinar grados de comprensión de los conceptos de física que describan la estructura del conocimiento previo de los estudiantes y caracterizar el punto de partida de la enseñanza, se definieron cuatro niveles de comprensión. Nivel 1: Incomprensión, Nivel 2: Comprensión incipiente, Nivel 3: Comprensión parcial y Nivel 4: Comprensión. La descripción de cada nivel se presenta en la tabla 4.

Para la asignación de los estudiantes en los niveles de comprensión, se analizó el desempeño obtenido por cada

estudiante en cada sección de este estudio. Así, un estudiante con desempeño en el rango de 1,00 a 0,75 se ubica en el nivel de comprensión completa de significados de los conceptos. Un desempeño entre 0,74 y 0,50 se interpreta como un nivel de comprensión parcial de significados. Un desempeño entre 0,49 y 0,25 correspondería a un nivel de comprensión de significados incipiente. Por último un desempeño menor a 0,25 correspondería a un nivel de incomprensión de significados por parte de un estudiante. La distribución del número de estudiantes por carrera en cada uno de los niveles de comprensión se muestra en la tabla 5. Además, en la figura 3 se presenta la distribución porcentual de estudiantes por carrera en los cuatro niveles de comprensión.

Un análisis preliminar de estos resultados muestra que la mayoría de los estudiantes se ubica en los niveles intermedios de comprensión, con 91 estudiantes en el nivel de comprensión incipiente y 89 estudiantes en el nivel de comprensión parcial. Por otra parte, 13 estudiantes se ubican en el nivel de incomprensión, y sólo 5 estudiantes en el nivel más alto de comprensión. En general, estos

Tabla 4
Descripción de niveles de comprensión.

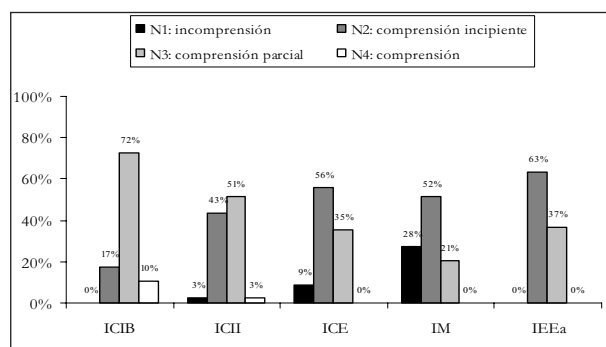
NIVEL	DESCRIPCIÓN
N1	<i>Incomprensión.</i> Predominio o ausencia de esquemas con significados que evidencian una comprensión de los conceptos de física. No contesta o escribe respuestas irrelevantes, o no utiliza los conceptos pertinentes en sus explicaciones, o confunde los términos estableciendo vínculos en desacuerdo con significados científicos de los conceptos.
N2	<i>Comprensión incipiente.</i> Reconocimiento sin explicación, o explicitación parcial de significados de los conceptos científicamente aceptados. No manifiesta una conceptualización científica aceptable de la física, sólo reconoce las situaciones. Si bien intenta enfrentarlas y describirlas mediante el uso de conceptos y leyes de la física, aún no explica o usa operaciones y representaciones simbólicas que reflejen una comprensión de significados científicos de los conceptos.
N3	<i>Comprensión parcial.</i> Transición entre un reconocimiento y la significación parcial de los conceptos de la física con aplicación a situaciones y problemas. Reconoce situaciones a las que aplica conceptos y leyes de la física. En las explicaciones se refleja organización y comprensión de significados de los conceptos, operaciones y sus representaciones simbólicas, pero aún no logra conectarlos completamente.
N4	<i>Comprensión.</i> Aprehensión de la mayoría de los conceptos para el nivel de instrucción. Manifiesta comprensión y explicitación de los significados de los conceptos de física al enfrentar y describir las situaciones, también usa apropiadamente las operaciones, representaciones simbólicas y propiedades de los conceptos en situaciones y problemas.

Tabla 5
Distribución del número de estudiantes según niveles de comprensión.

CARRERA	N1 INCOMPENSIÓN	N2 COMPRENSIÓN INCIPIENTE	N3 COMPRENSIÓN PARCIAL	N4 COMPRENSIÓN	TOTAL
ICIB	0	5	21	3	29
ICII	2	33	39	2	76
ICE	3	19	12	0	34
IM	8	15	6	0	29
IEEa	0	19	11	0	30
Total	13	91	89	5	198

resultados estarían mostrando que la mayoría de los estudiantes presenta un conocimiento previo que se caracteriza por un predominio de significados de los conceptos en desacuerdo con sus significados científicos.

Figura 3
Distribución porcentual de estudiantes por carrera en los niveles de comprensión.



DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Se observa que la mayoría de los estudiantes participantes en este estudio presenta una ausencia notoria de conocimientos en física para enfrentar las situaciones y lecturas propuestas en el cuestionario. De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 5, se deduce que el 97% de los estudiantes se ubica en los niveles más bajos de comprensión (niveles N1, N2 y N3) definidos para este estudio, donde el nivel N3 corresponde tan sólo a un nivel de comprensión parcial de significados científicos de un conjunto importante de conceptos y leyes de la física.

Los bajos niveles de comprensión se manifiestan en todas las carreras (Fig. 3), con un predominio de estudiantes en los niveles de comprensión incipiente y parcial. Así en las carreras ICE, IM y IEEa el porcentaje de estudiantes en el nivel incipiente es de entre un 56% y 63%; en el nivel de comprensión parcial es de entre 21% y 37%, y ningún estudiante alcanza el nivel de comprensión. Sólo dos carreras ICIB e ICII, presentan una distribución de estudiantes con predominio en los niveles de comprensión más altos. En efecto, la distribución observada para estas carreras es de entre el 17% y 43% de sus estudiantes en el nivel incipiente, de entre el 72% y el 51% en el nivel aceptable, y de entre el 10% y 3% en el nivel de comprensión, que corresponde a cinco estudiantes del total de la muestra. Además, llama la atención que 13 estudiantes pertenecientes a las carreras de ICII, ICE e IM, que representan el 7% del total de la muestra, se ubiquen en el nivel de incompreensión, que corresponde a un nivel de conocimiento y uso de conceptos en desacuerdo con sus significados científicos.

Si se analizan los puntajes promedios de desempeño en cada sección, mostrados en la figura 1, se observa que el

mejor desempeño está en la sección de LTC (0,61), que explora la comprensión lectora de textos científicos; le sigue el desempeño en la sección SCC (0,49), que explora la comprensión y uso de conceptos de física en situaciones de contexto cotidiano. El desempeño más bajo está en la sección SCA (0,36), que explora la comprensión y uso de conceptos de física en situaciones de contexto académico.

Sin embargo, si además del análisis descrito en el párrafo anterior se analiza el desempeño promedio por carrera en cada una de las secciones (Fig. 2), se observa que en todas las carreras se repite este patrón de comportamiento del desempeño por sección. Llama la atención que el mayor desempeño en la Sección SCA corresponda a la carrera de IEEa (0,40), que a su vez es una de las carreras con menor puntaje de selección (Tabla 1). En cambio el mayor desempeño en la sección LTC corresponde a la carrera de ICII (0,66) y el mayor desempeño en la sección SCC corresponde a la carrera de ICIB (0,55), que son las carreras con mayor puntaje de selección (Tabla 1). Este mejor desempeño de los estudiantes de las carreras ICII y ICIB en situaciones cotidianas y comprensión de lectura podría estar indicando que las representaciones (esquemas) de los conceptos de física de estudiantes con mayor puntaje de selección se caracterizarían por una mayor riqueza conceptual con una mejor discriminación de significados (Moreira, 2000; Caballero, 2003). En cambio, los esquemas de los estudiantes de carreras de menor puntaje de selección y con mejor desempeño en situaciones de contexto académico, como la carrera IEEa, se caracterizarían por una representación conceptual más restringida, con predominio de aspectos procedimentales (Vergnaud, 1998).

La baja comprensión conceptual y la baja discriminación de significados de los conceptos usados por los estudiantes se observan con más nitidez al analizar la frecuencia del desempeño en las preguntas P4, P9, P10, P11 y P14 del cuestionario (Anexo 1), que se refieren al concepto de *energía*, como se muestra en la tabla 6.

En la tabla 6 se observa que el nivel de desempeño máximo (de acuerdo con significados científicos) es alcanzado por muy pocos estudiantes en las preguntas P9 y P14, las cuales demandan un uso de significados del concepto de *energía* de mayor riqueza conceptual. En efecto, sólo 15 estudiantes (7,6%) alcanzan este nivel en la pregunta P9, la cual demanda la construcción de una analogía que explique la conservación de la energía; y 13 estudiantes (6,6%) alcanzan este mismo nivel en la pregunta P14, que demanda identificar y aplicar el concepto de *energía* y su conservación en la resolución de un problema. En cambio, se observa que un número mayor de estudiantes alcanza el nivel de desempeño máximo en las preguntas P4, P10 y P11, que demandan una comprensión menor de significados, como son, la construcción de frases que incluyan el concepto de *energía* y el cálculo de cantidades asociadas a una magnitud conservada a partir de una expresión matemática dada.

Tabla 6
Frecuencia de desempeño en preguntas del concepto de *energía*.

NIVEL DE DESEMPEÑO	FRECUENCIA				
	P4 (SCC)	P9 (LTC)	P10 (LTC)	P11 (LTC)	P14 (SCA)
Desacuerdo con significados científicos	36	42	33	34	47
Acuerdo parcial mínimo con significados científicos	21	37	5	6	104
Acuerdo parcial con significados científicos	46	19	3	1	27
Acuerdo con significados científicos	77	15	92	113	13
No contesta	18	85	65	44	7
Total estudiantes	198	198	198	198	198

Esta falta de una comprensión más profunda del concepto de *energía* por parte de los estudiantes, manifestada en el desempeño de las preguntas P9 y P14, es coherente con el número de estudiantes que no contestan la pregunta P9 (85) y con el alto número de estudiantes en el nivel de desempeño de acuerdo parcial mínimo con significados científicos (104) (Tabla 4).

De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que los grados de comprensión que caracterizan el conocimiento previo de los estudiantes permiten identificar vínculos entre la estructura de las representaciones de los estudiantes y la estructura de significados, que éstos utilizan al enfrentar situaciones y problemas que involucran una conceptualización científicamente aceptable de un conjunto importante de conceptos de física. Estos resultados confirman lo sugerido por diversos autores: que los conceptos no sólo deben ser definidos por su estructura, sino que se requiere considerar las situaciones en las cuales los conceptos son usados y los sistemas de representación simbólica que los estudiantes usan para pensar y escribir acerca de un concepto. Es decir, la comprensión de significados científicos está regulada por la interacción entre la información contenida en las situaciones y la estructura conceptual de cada estudiante (Vergnaud, 1981; 1998).

Los resultados obtenidos con la realización de este estudio permiten una aportación preliminar de conocimiento

conceptual y metodológico para el desarrollo de diseños de enseñanza de conceptos de física en la ZDP que atiendan la diversidad de los estudiantes. Además, esto facilitaría el desarrollo de acciones que permitan organizar y optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje para asegurar oportunidades para que todos puedan aprender (Allal y Pelgrims, 2000).

Las implicaciones para futuros estudios de conocimiento previo, desde la perspectiva de la teoría de campos conceptuales, apuntan a la consolidación de una metodología para mejorar la caracterización del conocimiento previo y las representaciones que los estudiantes tienen de sus conocimientos en física (Vergnaud, 1981; 1998). Por lo tanto, apuntan a la identificación de disposiciones conceptuales para un aprendizaje significativo progresivo de la física en el nivel universitario (Caballero, 2004; Moreira, 2000).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Cecilia Fuentes, Carlos Abarzúa y M^a Angélica Osorio por sus aportaciones en la elaboración del instrumento.

NOTA

Este trabajo ha sido financiado por la Universidad de La Frontera, Proyecto Mecsup FRO0306; y Proyecto DIUFRO N° 120423.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAL, L. y PELGRIMS, G. (2000). Assessment of –or in– the zone of proximal development. *Learning and Instruction*, 10(2), pp. 137-152.
- CABALLERO, M^a. C. (2004). La progresividad del aprendizaje significativo, en Moreira, M.A., Caballero, M^a.C. y Rodríguez Palmero, M^a.L. (eds.). *Aprendizaje significativo: Interacción personal, progresividad y lenguaje*, pp. 49-66. Burgos: Universidad de Burgos.
- CRONBACH, L.J. (1967). Coefficient alpha and internal structure of tests, en Mehrens, W.A. y Lebel, R.L. (org.). *Principles of educational and psychological measurement*. Chicago: Rand McNally.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHIE, A. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press. (Trad. cast. de Manzano, P.: *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*, Madrid: Morata/MEC, 1989).
- DRIVER, R., SQUIRES, A., RUSHWORTH, P. y WOOD-RBINSON, V. (1999). *Dando sentido a la ciencia secundaria. Investigaciones sobre las ideas de los niños*. Madrid: Visor.
- DUIT, R. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), pp. 671-688.
- 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), pp. 25-53.
- LLANCAQUEO, A., CABALLERO, C. y MOREIRA, M.A. (2003). 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), pp. 399-417.
- MOREIRA, M.A. (2000). *Aprendizaje significativo: teoría y práctica*. Madrid: Visor.
- MOREIRA, M.A. (2002). A Teoría dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (1), pp. 1-24.
- MOREIRA, M.A. (2004). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo, en Moreira, M.A. y Greca, I. (eds.). *Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- POZO, J.I y GÓMEZ CREPO, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- POZO, J.I. (1999). Más allá del cambio conceptual: El aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), pp. 513-520.
- RIVIÈRE, A. (1994). *La psicología de Vygotski*. Madrid: Antonio Machado Libros, 2002.
- SILVEIRA, F.L.DA. (1981). Fidedignidade das medidas e diferenças entre grupos em psicologia e educação. *Ciência e Cultura*, 33(5), pp. 704-707.
- SILVEIRA, F.L. (1993). Validação de testes de papel e lápis, en Moreira, M. y Silveira, F.L. (ed.). *Instrumentos de pesquisa em ensino e aprendizagem*, pp. 67-93. Porto Alegre: Edipucrs.
- VERGNAUD, G., HALWACHS, F. y ROUCHIER, A. (1981). Estructura de la materia enseñada, historia de las ciencias y desarrollo conceptual del alumno, en Coll, C. (ed.). *Psicología genética y educación*. Barcelona: Oikos-tau.
- VERGNAUD, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(23), pp. 133-170.
- VERGNAUD, G. (1996). Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, 26(10), pp. 195-207.
- VERGNAUD, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behaviour*, 17(2), pp. 167-181.
- VYGOTSKY, L.S. (1989). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Editorial Crítica.
- VYGOTSKY, L.S. (1995). *Pensamiento y lenguaje*. Barcelona: Paidós.

[Artículo recibido en abril de 2005 y aceptado en octubre de 2006]

ANEXO 1

Ejemplo de algunas situaciones y lecturas del instrumento.

Uso de conceptos en situaciones de contexto cotidiano

Situación 2: Escribe dos frases en que aparezca la palabra *fuerza* y dos frases en que aparezca la palabra *energía*.

3. Para fuerza:

Frase N° 1: _____

Frase N° 2: _____

4. Para energía:

Frase N° 1: _____

Frase N° 2: _____

Situación 3: Cuando yo era pequeña creía que el locutor que hablaba en la radio era un pequeño *pulgarcito* que llegaba a través del cable con que se enchufaba la radio. Pronto tuve que desechar mi teoría cuando mi padre llegó a casa con una flamante radio a pilas. Hoy día es tan natural la presencia de equipos portátiles, incluida la telefonía móvil, que ya no nos asombramos y peligrosamente dejamos de preguntarnos, como por ejemplo: ¿Cómo se transmite la información?

5. Explica brevemente cómo es posible que la información sea transmitida en forma inalámbrica.

Explicación: _____

Uso de conceptos en la comprensión de un texto

Lectura N° 2: Lee atentamente este texto tomado del libro *Seis piezas fáciles* de Richard Feynman, Premio Nobel de física 1965.

«Imaginemos a un niño, quizás Daniel el Travieso, que tiene unos bloques que son absolutamente indestructibles y no pueden dividirse en piezas, cada uno de ellos es igual que los otros. Daniel tiene 28 bloques y supongamos que su madre le ha dejado por la mañana con sus 28 bloques en una habitación. Al caer la tarde, sintiendo curiosidad, ella cuenta los bloques con mucho cuidado y descubre una ley empírica: haga lo que Daniel haga con los bloques ¡siempre sigue habiendo 28 bloques! Esto continúa durante varios días, hasta que un día sólo hay 27 bloques; pero tras una pequeña búsqueda la madre encuentra que hay un bloque bajo la alfombra; ella debe mirar en todas partes para estar segura de que el número de bloques no ha variado. Sin embargo, un día el número de bloques parece haber cambiado; hay sólo 26. Una investigación cuidadosa pone de manifiesto que la ventana estaba abierta, y al buscar fuera aparecen los otros dos bloques. Otro día, un recuento cuidadoso indica que ¡hay 30 bloques! Esto provoca una consternación considerable, hasta que la madre cae en la cuenta de que Juan vino de visita trayendo sus propios bloques, y dejó algunos en casa de Daniel. Una vez que ella se ha deshecho de los bloques extra, cierra la ventana, no deja que entre Juan, y entonces todo sigue correcto... hasta que en cierto momento cuenta y encuentra sólo 25 bloques. Sin embargo, en la habitación hay una caja, la madre quiere abrirla pero el niño grita: «No, no abras mi caja de juguetes», es decir, la madre tiene prohibido abrir la caja de juguetes.

Como la madre es extraordinariamente curiosa y algo ingeniosa, ¡ella inventa una treta! Sabe que cada bloque tiene una masa de 100 gramos, así que mide la masa de la caja en un instante en que ella ve los 28 bloques en la habitación. La masa de la caja es de 600 gramos, y en cada nueva ocasión en que quiere hacer una comprobación, mide de nuevo la masa de la caja, resta 600 gramos divide por 100 y descubre lo siguiente:

$$(\text{Número de bloques vistos}) + \frac{(\text{masa de la caja} - 600 \text{ gramos})}{100 \text{ gramos}} = \text{constante}$$

»En otras ocasiones parece que hay nuevas desviaciones, pero un cuidadoso estudio indica que el nivel del agua sucia de la bañera está cambiando. El niño está arrojando bloques al agua y la madre no puede verlos porque el agua está muy sucia, pero puede descubrir cuántos bloques hay en el agua añadiendo otro término a su fórmula. Puesto que la altura original del agua era 15 centímetros y cada bloque eleva el agua 0,5 centímetros, esta nueva fórmula sería:

$$(\text{Número de bloques vistos}) + \frac{(\text{masa de la caja} - 600 \text{ gramos})}{100 \text{ gramos}} + \frac{(\text{altura del agua} - 15 \text{ centímetros})}{0,5 \text{ centímetros}} = \text{constante}$$

»A medida que aumenta la complejidad de su mundo, la madre encuentra toda una serie de términos que representan formas de calcular cuántos bloques hay en los lugares donde ella no puede mirar. Como resultado, encuentra una fórmula compleja, una magnitud que debe ser calculada, que siempre tiene el mismo valor.»

9. ¿Qué analogías encuentras entre esta historia y la conservación de la energía? Señala y explica al menos una de ellas.

Explicación: _____

10. ¿Cuánto vale la *constante*? _____

11. Si en una ocasión la masa de la caja es 1.000 gramos, entonces, ¿cuál es el número de bloques vistos y el número de bloques en la caja?

Nº bloques vistos: _____ ; Nº bloques en la caja: _____

Uso de conceptos en situaciones y problemas de contexto académico

Situación 5: Si dejamos caer al mismo tiempo desde la ventana de un octavo piso dos esferas metálicas de igual tamaño, pero de distinto peso, por ejemplo, una de aluminio y otra de hierro.

13. Según tu opinión:

- a) La esfera de aluminio llegará primero al suelo.
- b) La esfera de hierro llegará primero al suelo.
- c) Las dos esferas llegarán al suelo al mismo tiempo.

Explica lo más detalladamente posible tu respuesta, considerando cómo actúa la *fuerza de gravedad* en la caída de ambos cuerpos (la esfera de aluminio y la esfera de hierro).

Explicación: _____

14. Si en el caso anterior las esferas cayeran sobre la carrocería de un auto, ¿cuál de las dos esferas abollaría más la carrocería? Explica lo más detalladamente posible tu respuesta.

Explicación: _____

Situación 10: Sacamos del congelador dos cubitos de hielo idénticos. Ponemos un cubito sobre un plato de madera y el otro sobre un plato de cobre.

18. ¿Tardarán los cubitos de hielo el mismo tiempo en descongelarse?

Sí _____ ; No _____ Explica ¿Por qué? Explicación: _____

ANEXO 2

Ejemplo de criterios de corrección del desempeño de uso de conceptos en situaciones y problemas.

CONCEPTOS	PREGUNTA	PUNTAJE DESEMPEÑO			
		1	2	3	4
Fuerza y energía	P4	No escribe frases con los conceptos de <i>fuerza</i> y <i>energía</i> con significados en desacuerdo con significados científicos.	Escribe frases usando el concepto <i>energía</i> , pero evidencia una comprensión parcial de sus significados, que confunde con significados de <i>fuerza</i> , u otros conceptos.	Escribe una frase con uso correcto del concepto de <i>energía</i> , la otra contiene significados incorrectos que confunde con significados de <i>fuerza</i> , u otros conceptos.	Escribe dos frases con el concepto de <i>energía</i> con significados en acuerdo con los significados de la física.
Ondas electromagnéticas	P5	No elabora un modelo ondulatorio que describa y explique la comunicación inalámbrica.	Utiliza en forma confusa conceptos asociados a ondas electromagnéticas sin lograr construir un modelo para describir y explicar la comunicación inalámbrica.	Usa parcialmente conceptos asociados a ondas electromagnéticas. Construye un modelo incompleto para describir y explicar la emisión, propagación y recepción de ondas en la comunicación inalámbrica.	Utiliza en forma adecuada conceptos asociados a las ondas electromagnéticas. Construye un modelo adecuado para describir y explicar la emisión, propagación y recepción de ondas en la comunicación inalámbrica.
Conservación de la energía	P9	No identifica el tema del texto ni su información para realizar analogías entre su contenido y el principio de conservación de la energía.	Identifica el tema del texto, pero no logra organizar la información para establecer analogías con el principio de conservación de la energía.	Identifica el tema del texto y organiza parcialmente la información para establecer analogías con el principio de conservación de la energía. No logra explicar la conservación de la energía mediante analogías.	Identifica e interpreta la información del texto para describir y comparar su contenido y significados con el principio de conservación de la energía. Explica la conservación de la energía mediante analogías.
Conservación de la energía	P10	Evidencia incomprensión de significados y aplicación de un principio de conservación en la resolución de un problema.	Evidencia incomprensión de significados y aplicación de un principio de conservación en la resolución de un problema. Evidencia conocer algunos procedimientos de cálculo que aplica mecánicamente.	Evidencia una comprensión parcial de significados y aplicación de un principio de conservación en la resolución de un problema. Conoce y aplica procedimientos de aplicación incompletos derivados de ellos.	Evidencia comprensión de los significados y aplicación de un principio de conservación en la resolución de un problema. Conoce y aplica correctamente procedimientos de aplicación derivados de ellos.
Fuerza de gravedad, masa, energía y movimiento	P14	No diferencia los efectos sobre el cuerpo (auto) golpeado y no aplica el concepto de <i>energía</i> para explicar estas diferencias.	Identifica las diferencias de efecto sobre el auto golpeado y no aplica el concepto de <i>energía</i> para explicar la diferencia.	Identifica correctamente las diferencias de efecto sobre el auto sin describir y explicar la diferencia de energía de los cuerpos.	Identifica, describe y explica correctamente que la diferencia de energía de los cuerpos está determinada por sus masas.
Transferencia del calor	P18	No evidencia representaciones científicas para el calor, ni elabora explicaciones para su transferencia.	Representa el calor como energía sin asociarlo al movimiento de los átomos y moléculas de los materiales. No elabora explicaciones para su transferencia.	Representa el calor como energía cinética asociada al movimiento de átomos y moléculas de los materiales, sin elaborar explicaciones para su transferencia.	Representa el calor como energía cinética asociada al movimiento de los átomos y moléculas de los materiales, y elabora explicaciones para su transferencia.