

## Los conceptos de sistema y equilibrio en el proceso de enseñanza/aprendizaje de la Mecánica y Termodinámica. Posibles invariantes operatorios

Rodrigo Covalada<sup>1</sup>, Marco A. Moreira<sup>2</sup>, M<sup>a</sup> Concesa Caballero<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Física. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de A. Medellín. Colombia. E-mail: [rcova@fisica.udea.co](mailto:rcova@fisica.udea.co).

<sup>2</sup>Instituto de Física. UFRGS. Cx. Postal. 15051-91501-970. Porto Alegre, Brasil. E-mail: [moreira@if.ufrgs.br](mailto:moreira@if.ufrgs.br).

<sup>3</sup>Departamento de Física. Universidad de Burgos. Plaza Misael Bañuelos. s/n. 09001. Burgos. España. E-mail: [concesa@ubu.es](mailto:concesa@ubu.es)

**Resumen:** El presente trabajo, forma parte de un proyecto de investigación de carácter interpretativo descriptivo, cuya finalidad es indagar los posibles invariantes operatorios, que integran representaciones mentales de los estudiantes cuando se enfrentan con nuevas situaciones problemáticas, relacionadas con los conceptos de sistema y equilibrio. La investigación se desarrolló con alumnos universitarios, que cursaban la asignatura de Física I, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Los resultados que se presentan en este trabajo, corresponden al análisis de las respuestas de los estudiantes a algunas de las preguntas de las Pruebas aplicadas al inicio y final del curso. La propuesta teórica de Greca y Moreira (2005), que articula esquemas de asimilación y modelos mentales, ha sido referente en el planteamiento del problema y análisis de los datos de la investigación. Se han identificados posibles invariantes operatorios de los estudiantes relacionados con los conceptos de *sistema* y *equilibrio*.

**Palabras clave:** sistema, equilibrio, invariantes operatorios, aprendizaje de conceptos

**Title:** The concepts of system and equilibrium in the teaching/learning process of Mechanics and Thermodynamics. Possible operational invariants

**Abstract:** This paper presents part of a qualitative research project designed to investigate possible operational invariants which might be used in mental representations that students construct when facing new problem situations. The study was carried out with college students taking the Physics I course at the School of Engineering of the Antioquia University, Medellin, Colombia. Research findings presented in this paper correspond to the analysis of students' answers to some items of a questionnaire applied at the beginning and at the end of the course. The theoretical proposal of Greca and Moreira (2005) articulating assimilation schemes and mental models was used as framework for data analysis. Possible operational invariants regarding the concepts of system and equilibrium were identified.

**Keywords:** system, equilibrium, operational invariants, concept learning

## Introducción

Desde la perspectiva de la teoría de los campos conceptuales (Vergnaud, 1990; 1993), la conceptualización es el núcleo central del desarrollo cognitivo, por consiguiente, para facilitar el aprendizaje significativo en el proceso educativo hay que intentar comprender los procesos cognitivos de los estudiantes durante el aprendizaje de conceptos complejos, como son los científicos. Más aún, para este autor (op.cit.), el aprendizaje de determinados conceptos científicos requiere disponibilidad en la estructura cognitiva de los sujetos, de significados de otros conceptos-clave, como son los de sistema, conservación, probabilidad, simetría, transformación. En este sentido, se ha considerado relevante indagar si los estudiantes universitarios, participantes en la investigación, disponen de los conceptos de sistema y equilibrio en su estructura cognitiva, y cuáles son los tipos de representaciones utilizadas cuando emplean estos conceptos en la resolución de problemas; conceptos y sus representaciones, promueven la apropiación significativa de la Mecánica y Termodinámica (Pozo, 1999). Cuando los significados de estos conceptos precursores, se alejan de los adoptados en el contexto científico, pueden actuar como obstáculos cognitivos en el aprendizaje significativo, de ahí su interés en la investigación.

El concepto de sistema tiene un papel mediador en el aprendizaje de nuevos conceptos (op.cit.), en la resolución de problemas de Mecánica (Reif, 1995; Van Heuvelen, 1991) y en situaciones que involucran energía, transformaciones y conservación, e incluso degradación de la energía (Cotignola et al., 2002).

La revisión bibliográfica realizada, pone también de manifiesto la importancia del concepto de sistema en el proceso de enseñanza/aprendizaje de la Física. Algunas aportaciones señalan que, la capacidad para comprender un discurso científico, está condicionada al uso de términos con significados acordes con los científicos, es decir, el lenguaje es esencial, tanto en la comunicación oral como escrita (Leite y Almeida, 2001). Otro aspecto que aparece en la literatura, está relacionado con propuestas de enseñanza/aprendizaje y abordajes de naturaleza didáctica, en las que prima la concepción sistémica y jerárquica, como enfoques al aprendizaje de conceptos científicos. Esta perspectiva sistémica se considera idónea para la comprensión de un currículum integrado en ciencias. Los pensamientos de Arons (1999) y Grimellini et al.(1993), reflejados en la idea de Reif (1995), refuerzan esta visión sistémica: "*la identificación de un sistema es esencial y clave para la comprensión de sistemas físicos y la aplicación correcta de las leyes de Newton*" (op. cit., p.22).

Este abordaje sistémico en los procesos de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, particularmente en Física, aporta ventajas para comprender conceptos relacionados con la energía, temperatura, calor y principios termodinámicos (Luffiego, et al., 1994; Gulyaev et al., 2002), donde los conceptos de sistema y equilibrio son pertinentes y esenciales; por consiguiente, es importante priorizar los procesos que llevan a una adecuada conceptualización de esos conceptos (Michinel et al., 1993; Cottignola et al., 2002). Por otro lado, los procesos de modelización

(Halloun, 1996), exigen definir adecuadamente los sistemas, de manera que se construye un modelo apropiado para representar cada sistema desde un marco científico determinado.

En lo que respecta al concepto de equilibrio, es fundamental, no sólo en el aprendizaje de la Mecánica, para comprender y explicar estados de equilibrio, relacionados con principios de conservación, como el de la energía, sino también en la Termodinámica para interpretar situaciones de equilibrio térmico (Gring et al., 2006; Cotignola et al., 2002). No obstante, la discusión que se suscita del equilibrio térmico va más allá de los alcances de este trabajo, en relación con el equilibrio mismo y los procesos reversibles o irreversibles en la Termodinámica (Tipler y Mosca, 2005) y con connotaciones de procesos no lineales en especial para la consideración de la Termodinámica de los seres vivos.

Asumiendo que los conceptos de sistema y equilibrio son nucleares, para un aprendizaje significativo de nuevos conocimientos en Mecánica y Termodinámica se pretende analizar y describir las dificultades que encuentran los alumnos universitarios de un curso de Física I de la carrera de Ingeniería para comprender los conceptos de sistema y equilibrio y, en que medida, éstas pueden impedir el aprendizaje significativo de fenómenos relacionados con dichos conceptos. La caracterización de los principales obstáculos en el aprendizaje, permite inferir posibles invariantes operatorios (conocimientos implícitos) que los alumnos están utilizando para resolver situaciones problemáticas de Mecánica y Termodinámica. En este trabajo se muestran solamente los resultados, y su análisis, de algunos ítems que forman parte del cuestionario aplicado a la muestra indagada.

### **Marco teórico**

Esta investigación tiene como perspectiva teórica los actuales enfoques cognitivos sobre el aprendizaje. En particular, para las pretensiones de este trabajo, hemos considerado preferentemente las contribuciones de la teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel(1976; 2002), la de los campos conceptuales de Vergnaud (1990; Moreira, 2002) y la propuesta integradora de Greca y Moreira (2005), que articula esquemas de acción y modelos mentales, permitiendo, de este modo, abordar la complejidad inherente a la investigación sobre representaciones y modelos mentales. Así lo exponen sus propios autores, al afirmar que: "*la investigación en enseñanza de las ciencias no se puede limitar a la simple detección de aquello que está en boga o a la moda, como los modelos mentales, ni al uso de nuevas terminologías para viejos constructos, como es el caso de llamar modelos mentales a las conocidas concepciones alternativas*" (op.cit. p.88).

Dentro de los elementos teóricos que han sido considerados, como más relevantes para el desarrollo de la presente investigación, destacamos los siguientes:

1. La comprensión significativa de situaciones nuevas, implica la construcción de modelos mentales, como premisa de una visión representacional-computacional de la mente (Johnson-Laird, 1983).

2. La propuesta de Greca y Moreira (2005), articula los esquemas de asimilación de Piaget (1975), tal como son definidos en la teoría de los

Campos Conceptuales de Vergnaud(1990), con los Modelos Mentales de Johnson-Laird(1983). Considera igualmente que los invariantes operatorios pueden integrar los modelos mentales de Johnson-Laird, lo que no significa que los consideren la misma cosa.

3. La teoría de los campos conceptuales presenta, de manera clara y explícita, la definición de *concepto*, como constituido por el triplete de conjuntos de situaciones, de invariantes operatorios y de representaciones lingüísticas y simbólicas que el sujeto utiliza para dar significado al concepto (Vergnaud, 1990; Moreira, 2004).

Los esquemas, como una forma de representación, se caracterizan por ser elementos con alguna estabilidad en la estructura de la memoria a largo plazo, y en ellos, se encuentran los conceptos y teoremas-en-acto, conocimiento largamente implícito, que Vergnaud (1990; en Moreira, 2002.) identifica como invariantes operatorios y forman parte de los esquemas de acción. Los invariantes operatorios contienen propiedades del mundo físico y sus relaciones matemáticas, según la perspectiva del sujeto y pueden no corresponder a significados y proposiciones científicamente aceptados. Este conocimiento-en-acto, activa la generación de representaciones mentales, cuando el sujeto se enfrenta a una situación nueva. Estas representaciones, son los modelos mentales activados para esa situación concreta, es decir, son modelos de trabajo eficaces para resolver la situación propuesta, y se sitúan en la estructura de la memoria de corto plazo. Desde esta perspectiva teórica, los modelos mentales aparecen como representaciones mediadoras entre la situación y el conocimiento que el sujeto posee. Así, el modelo mental puede ser el resultado de la percepción que tiene el sujeto de la situación y de los invariantes operatorios, al combinar diferentes esquemas que, simultáneamente, son utilizados por el sujeto para lograr la comprensión de la situación y su acción sobre ella (Greca y Moreira 2002).

Por consiguiente, en esta propuesta integradora de esquemas y modelos mentales, los teoremas-en-acto determinan las relaciones fundamentales que se establecen en el momento de activar el sujeto el modelo mental que estima pertinente para abordar una situación. Estos teoremas-en-acto, entendidos como representaciones proposicionales, desde la teoría de Vergnaud, pueden ser falsos o verdaderos. Los modelos mentales, a su vez, son recursivos y su único compromiso es la funcionalidad para el sujeto. Al ser generados, manipulados y rodados, los modelos mentales, proporcionan las reglas de acción y control que determinan la secuencia de acciones del sujeto.

Greca y Moreira (op.cit.) consideran que, los esquemas son estructuras en la memoria de largo plazo y entienden que las inferencias, frente a nuevas situaciones, se encuentran fuera de los esquemas (en la teoría de los campos conceptuales, las inferencias son uno de los ingredientes de los esquemas usados en situaciones conocidas). Así, entienden los autores de esta propuesta integradora, que los esquemas se activan frente a tareas problemáticas nuevas, generando modelos mentales. Las características de funcionalidad y recursividad de los modelos mentales posibilitan las inferencias y predicciones, frente a cada nueva situación en particular. De este modo, se evidencia la integración y articulación entre los esquemas de

acción de Vergnaud (1990.) y los modelos mentales de Johnson-Laird (1983).

Ahora bien, ¿cómo se genera un modelo mental? A partir de la percepción y de partes de los esquemas que no han funcionado porque la situación es nueva. Es decir, aunque los esquemas no den cuenta de la situación, algunos de sus ingredientes pueden ser utilizados en el modelo mental que el sujeto construye para resolver la situación. Entonces los conocimientos-en-acto, que se encuentran en los esquemas permiten, a través de su participación en modelos mentales, hacer una lectura de la realidad que enfrenta el sujeto. Sin embargo, cuando los resultados de esos modelos, o sea, sus predicciones y/o explicaciones no resulten satisfactorias en relación con la situación propuesta, se producen modificaciones de los modelos, o menos frecuentemente, de los invariantes del sujeto, en razón de las inconsistencias entre el modelo mental y la situación (Greca y Moreira, 2002; Moreira, 2005). Esto significa que, al enfrentar una situación nueva, las discrepancias que puedan surgir entre las inferencias provenientes del modelo mental construido a partir de los invariantes operatorios existentes en sus esquemas y de la percepción de la situación misma, lo llevan a la modificación de los modelos, y eventualmente, de los invariantes operatorios, así como en algunos casos a la construcción de nuevos esquemas de asimilación.

Por consiguiente, al considerar una clase de situaciones, cuya solución está basada en el modelo físico, construido por los científicos, se pueden encontrar elementos comunes, que son los invariantes operatorios, que provienen del dominio o comprensión del modelo físico y se corresponden con las propiedades del modelo físico considerado. Se puede afirmar, entonces, que la comprensión de un determinado modelo físico, requiere presentar al alumno, no una situación específica, sino una serie de situaciones, con niveles de complejidad diferentes, que le permitan percibir los conceptos, relaciones y propiedades involucrados en el modelo físico; es decir, que el alumno pueda explicitar el conocimiento implícito en los invariantes operatorios de sus esquemas y progresivamente evolucione hacia aquellos reconocidos en el ámbito científico.

El interés para la investigación en enseñanza, que ofrecen estos marcos teóricos cognitivos, radica en que muestran el valor de descubrir, estos invariantes operatorios, en la acción del sujeto. En efecto, el estudiante hace uso de sus esquemas disponibles para intentar resolver la situación propuesta, cuya respuesta depende de los conocimientos-en-acto relevantes para esa situación y que, generan o dan lugar a la creación de un modelo mental cuando la situación es nueva. La identificación de esquemas, es difícil y compleja, porque el repertorio de esquemas del estudiante proviene de su interacción y acción con el mundo. Esto significa, que ante diferentes situaciones, que pueden ser explicadas por el mismo modelo físico, se consideren como situaciones distintas y, por tanto, el sujeto recurre a esquemas diferentes, tal como lo confirman los resultados de la investigación en resolución de problemas llevada a cabo por Costa y Moreira (2002). Además, los modelos mentales también son difíciles de investigar porque son personales e inestables (Moreira, 2005; Pozo, 1999). Por consiguiente, lo realmente interesante es investigar invariantes operatorios.

¿Cómo explorar los conceptos y teoremas-en-acto, que son determinantes para la adquisición de conceptos científicos? y en nuestro caso concreto, ¿cómo conocer los conceptos-en-acto y teoremas-en-acto relacionados con los conceptos de sistema y equilibrio? En coherencia con los marcos teóricos, es imprescindible enfrentar a los estudiantes a la solución de problemas abiertos, pues sólo de este modo se promueve que ellos hagan explícitos los conocimientos que están empleando para construir los modelos mentales que les ayuden a resolver las tareas, es decir, sus invariantes operatorios. Con este fin, se diseñaron instrumentos con diversidad de situaciones-problema, de niveles de complejidad diferente. En este trabajo se dan a conocer algunos de estos resultados.

### **Metodología de investigación**

La metodología utilizada en el análisis de los datos presentados en este trabajo, fue de tipo interpretativo descriptivo y sus características se describen a continuación.

#### *Muestra*

Constituida por un grupo de 25 estudiantes universitarios del curso de Física I, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, durante el I Semestre de 2004, quienes voluntariamente aceptaron la aplicación de un cuestionario de 24 preguntas, de las cuales sólo se comentan las que corresponden a los resultados que se presentan en este trabajo (ver Anexo).

#### *Procedimiento*

- Los resultados encontrados en trabajos de investigación exploratoria (Covaleda et al., 2005), permitieron diseñar la estrategia de intervención didáctica y elaborar nuevos instrumentos de indagación. La investigación se llevó a cabo dentro de la planificación y en horario habitual para la docencia en la asignatura de Física I, donde el papel del docente ha sido, esencialmente, el de sugerir situaciones idóneas a través de las que los alumnos formulaban la comprensión y significados de los conceptos de sistema y equilibrio. La aplicación de pruebas e intervención en el aula, son la fuente de los datos de investigación que se aportan en este trabajo.

- Se aplicó un cuestionario al inicio y al final del I Semestre (además de otros tipos de registros que no se mencionan por no corresponder a este trabajo), integrados por 17 preguntas de carácter discursivo y 7 de elección múltiple, que incluyen justificación de la respuesta seleccionada. Este cuestionario fue debidamente validado en su contenido por dos profesores, expertos en Mecánica y Termodinámica, del Instituto de Física, de la Universidad de Antioquia.

- Las preguntas del cuestionario, estaban conformadas por una diversidad de situaciones problemáticas que involucraban los conceptos de sistema y equilibrio. Su finalidad fue obtener toda la información posible para reconocer elementos indicadores de posibles invariantes operatorios empleados por los estudiantes en la resolución de las tareas propuestas.

Así, la pregunta 1a, propone al estudiante, que exprese con sus propias palabras lo que entiende por sistema. La pregunta 1b, le propone al estudiante que describa, en su lenguaje, cómo entiende el concepto de equilibrio. La pregunta 2, enfrenta al estudiante con representaciones gráficas de tres situaciones de equilibrio. Las preguntas 3, 4, 7 y 16, tienen como objetivo que el estudiante identifique sistemas, interacciones y fuerzas entre sistemas en diferentes situaciones físicas. Las preguntas 12, 13, 14, y 15, van dirigidas a que el alumno identifique las variables de estado, cambios de estado, interacciones en diversas situaciones de naturaleza mecánica y termodinámica, qué entiende por cambios de estado de un sistema y su relación con las interacciones. La pregunta 5, a partir de tres situaciones físicas, tiene como objetivo, determinar si el estudiante puede establecer una relación entre equilibrio y transformaciones de energía. La pregunta 6, sugiere que el alumno explique y justifique las condiciones de equilibrio en las cuatro situaciones físicas. Las preguntas 10, y 11 indagan al estudiante acerca del equilibrio térmico y termodinámico respectivamente.

- Para el análisis de las respuestas de los estudiantes, se definieron categorías para los conceptos de sistema y equilibrio, según criterio del investigador, atendiendo a las respuestas de los alumnos y a la caracterización de los conceptos de sistema y equilibrio, aceptados actualmente en la ciencia.

### **Resultados y su análisis**

Seguidamente, se muestran las categorías definidas para los conceptos de sistema y equilibrio y el análisis comparativo de las respuestas de los alumnos a algunas de las preguntas de las pruebas aplicadas al inicio y al término del semestre. Este análisis tiene un enfoque predominante de carácter interpretativo descriptivo y los resultados se han confrontado con las aportaciones de la teoría integradora de esquemas de asimilación y modelos mentales de Greca y Moreira (op.cit.); por tanto, no hay argumentaciones estadísticas de los resultados.

Respecto a la aplicación de la prueba al finalizar el semestre, cabe destacar que ésta se aplicó en unas condiciones de expectativa de fin de curso, sin dejar de tener en cuenta la intervención en el aula sobre sistemas e interacciones y el énfasis en el desarrollo del curso sobre el concepto de equilibrio. Sin embargo, para los temas de fundamentos de termodinámica, los estudiantes no tenían aún conocimientos necesarios para argumentar sobre las situaciones sugeridas involucrando el concepto de equilibrio. A continuación, se presenta el análisis comparativo, para el concepto de *sistema* y las categorías definidas para interpretar las respuestas de los estudiantes.

*Análisis comparativo de los resultados de las pruebas inicial y final sobre el concepto de sistema.*

Para el concepto de sistema se definieron, según criterios expuestos previamente, las siguientes categorías:

1. *El sistema como un conjunto de cuerpos, objetos o elementos que interesa estudiar y que interactúan entre sí.* Se incluye, dentro de esta

categoría, aquellas respuestas que identifican en la concepción de sistema, dos conceptos esenciales: el de conjunto y el de interacción. De acuerdo con la teoría de los campos conceptuales, el análisis de las respuestas, consideradas en esta categoría, ha permitido identificar posibles conceptos-en-acto, como el de *conjunto de elementos*. También se han revelado algunos teoremas-en-acto, relativos a la interacción, por ejemplo: *los elementos de un sistema siempre interactúan entre sí*. Las respuestas de los estudiantes (E<sub>2</sub> y E<sub>5</sub>), que se indican a continuación, son expresivas de esta categoría:

E<sub>2</sub>. *Conjunto de elementos que interactúan entre sí, los cuales tienen propiedades físicas que pueden variar o mantenerse constantes en el momento en que interactúan con otro cuerpo.*

E<sub>5</sub>. *Sistema es un conjunto de elementos que consideramos para su estudio.*

2. *El sistema como una parte del universo que se requiere para estudiar su comportamiento y sus interacciones.* Las respuestas de los estudiantes, que responden a esta categoría, han permitido identificar un posible concepto-en-acto, *la noción de subconjunto o incluso de subsistema*; sin embargo, el de interacción no aparece ahora como una condición o regla que cumplan los elementos del sistema, sino como una característica del sistema, por tanto, ahora la interacción podría ser interpretada como un concepto-en-acto y no como un teorema-en-acto. A continuación, se presentan respuestas de estudiantes, indicativas de esta categoría:

E<sub>1</sub>. *Es una pequeña sección del universo que selecciono con el fin de estudiar puntualmente dejando por fuera cualquier tipo de interacción con el exterior.*

E<sub>3</sub>. *Todo aquello que nos interesa estudiar (parte del universo); en el sistema pueden haber subsistemas interactuando.*

E<sub>7</sub>. *Es una parte del universo en la cual estamos interesados en estudiar su comportamiento e interacciones.*

Se percibe, cómo en la primera categoría aparece explícita la idea de interacción entre cuerpos o elementos del sistema, de modo que *siempre hay una interacción entre los elementos de un sistema*, lo que permite inferir que esta idea constituye un teorema-en-acto, que forma parte del esquema que estarían empleando los estudiantes para abordar situaciones relativas al concepto de sistema. En la segunda categoría, que considera el sistema como *una parte del universo, objeto de nuestro interés de estudio, su comportamiento e interacciones*, también aparece la interacción, pero ahora como una característica o propiedad de los sistemas; sin embargo, ahora la idea de interacción, se constituye en concepto-en-acto.

Se aprecia que, la intervención de aula favorece la construcción de significados del concepto de sistema más próximos a los científicos y se evidencia un cierto nivel de claridad, con relación al significado del concepto de interacción, si bien ligado al de sistema. En coherencia con la teoría de los campos conceptuales y la integración de esquemas y modelos mentales, se podría decir que, los estudiantes, a través de la intervención en el aula,

han construido un *esquema de sistema* más apropiado para resolver las situaciones físicas propuestas.

Los resultados comparativos, cuidadosamente analizados, de las Pruebas realizadas al inicio y final del semestre, han llevado a detectar posibles invariantes operatorios de los conceptos de sistema y equilibrio y, a la vez, valorar el efecto global de la intervención didáctica en el aula. A continuación, se muestran estos resultados, para algunas de las preguntas de las Pruebas implementadas a los estudiantes, que requieren disponibilidad cognitiva en los estudiantes del concepto de *sistema*.

En la tabla 1, se presentan los resultados comparativos en las Pruebas Inicial y Final, para las preguntas P3, P4 y P7, cuyos enunciados se pueden ver en el Anexo.

Respuestas	P3 (%)		P4 (%)		P7 (%)	
	P.I	P.F	P.I	P.F	P.I	P.F
Correctas	38,5	61,5	15,4	53,9	0,0	7,7
Parcialmente correctas	7,7	7,7	46,1	46,1	53,8	61,5
Incorrectas	53,8	30,7	30,7	0,0	38,5	23,0
No contestan	0,0	0,0	7,7	0,0	7,7	7,7

Tabla1.- Resultados comparativos de las pruebas iniciales y finales para las preguntas P3, P4, P7

Las variaciones positivas en la pregunta P3, que aparecen en la tabla 1, sugieren que los estudiantes logran identificar los sistemas interactuantes, tal como lo ilustra la expresión del siguiente estudiante:

E<sub>4</sub>: *"desde mi punto de vista podríamos considerar como sistema la mesa y la mano, como un todo en el cual hay fuerzas interactuantes"*.

Además de identificar los elementos del sistema, se insinúa un posible teorema-en-acto que utiliza el mismo estudiante cuando afirma que *en los sistemas siempre hay fuerzas interactuantes*", o un posible concepto-en-acto, las *"fuerzas interactuantes"* se aplican a sistemas.

Los resultados de la pregunta P4, son coherentes con los obtenidos en P3. La correcta identificación de fuerzas que actúan sobre el bloque que se encuentra sobre el plano inclinado (ver Anexo), exige la identificación de los sistemas interactuantes, tal como queda corroborado por la respuesta de uno de los estudiante, al escribir la justificación de la opción de respuesta elegida:

E<sub>16</sub>. *Es la d (opción) debido a que la m<sub>2</sub> está sujeta a la tensión de la cuerda, la fricción del plano inclinado, la normal del plano inclinado y el propio peso de la m<sub>2</sub>.*

Es decir, ¿con qué sistemas interactúa el sistema bloque?, ¿de dónde emergen las fuerzas que actúan sobre el bloque?, quiere decir que de nuevo se hace uso de dos conceptos, sistema e interacción, que se evidencian como conceptos que constituyen conceptos-en-acto, al igual que el de fuerza también como concepto-en-acto, pertinentes para resolver la situación propuesta.

Las variaciones a las respuestas de la pregunta P7, merecen un comentario especial. Se observa que, en los porcentajes de respuestas presentados en la tabla 1, en general, identifican los sistemas interactuantes, aunque la tierra es considerada como un sistema implícito. A pesar de que identifican y consideran la tierra como sistema cuando tienen en cuenta el peso de los cuerpos, sin embargo, al interactuar con ella, no aparece explícitamente como sistema. Los avances conceptuales no aseguran que los estudiantes, en todas las situaciones propuestas, identifiquen las interacciones presentes en la respectiva situación. Esto concuerda con las ideas de la teoría de los campos conceptuales, que nos previene sobre el carácter progresivo del dominio de un campo conceptual, con rupturas y continuidades (Vergnaud, 1990).

Una primera apreciación, derivada de los resultados del análisis comparativo, es que parece que la mayoría de los estudiantes logra moldear o modificar, o tal vez, construir un esquema que le permite enfrentar situaciones en las que tiene que hacer uso del concepto de sistema. La correcta identificación de sistemas, así como la posible claridad en el concepto de interacción, permite identificar las fuerzas interactuantes entre sistemas o cuerpos, de acuerdo con la situación concreta.

Desde la perspectiva de los referentes teóricos de la investigación, *la percepción, que emerge de ciertos esquemas y que determina los comportamientos de los sujetos (la forma de resolución de problemas, las explicaciones, las predicciones) en el caso de los conocimientos científicos tiene que ser mediada por elementos conceptuales – conceptos como sistema, estado, interacción, transferencia (Vergnaud 1990; Moreira 2002; 2004)*. Así, en este caso, se identifica *sistema* como un concepto-en-acto, que a su vez, permite reconocer y/o identificar situaciones relativas a los sistemas y fuerzas involucradas en las situaciones propuestas en las preguntas P3, P4, P7, cuyos resultados se han expuesto en la tabla 1. De acuerdo con la teoría de los campos conceptuales, se evidencia que el concepto de sistema no está solo sino relacionado con otros conceptos de sistemas, con los que puede interactuar (op.cit.).

Así, pues, para que un estudiante identifique las fuerzas que actúan sobre un sistema o cuerpo, necesita disponer de invariantes operatorios adecuados (científicamente aceptados), que le permitan enfrentar situaciones cuya resolución involucra los conceptos de sistema e interacción. Esta condición probablemente lleva a identificar los sistemas interactuantes, y las fuerzas que emergen de esa u otra posible interacción. Por lo tanto, es importante proporcionar tareas pertinentes a los estudiantes para que puedan explicitar sus invariantes operatorios, en ocasiones con significados que se alejan de los reconocidos por la ciencia y ayudarlos mediante variadas y complejas situaciones, a que esos significados se aproximen a los científicos. Se puede pensar que a cada categoría de respuestas corresponde un invariante diferente, si tenemos en cuenta las respuestas de los estudiantes E<sub>2</sub> y E<sub>8</sub>:

*E<sub>2</sub>. Conjunto de elementos que interactúan entre sí, los cuales tienen propiedades físicas que pueden variar o mantenerse constantes en el momento en que interactúan con otro cuerpo.*

E<sub>8</sub>. *Conjunto de cuerpos físicos que interactúan entre sí y producen un efecto.*

En este caso, el concepto-en-acto de *sistema como un conjunto*, sugiere la existencia de cuerpos y el teorema-en-acto, *los elementos del sistema interactúan entre si o con otros*. Si tomamos las respuestas de los alumnos, E<sub>3</sub> y E<sub>7</sub>, se pueden reconocer dos posibles conceptos-en-acto, uno, en el que *el sistema es una parte del universo* y, el otro, ligado al primero, el *concepto de interacción*. Así, se aprecia en las respuestas de cada uno de ellos:

E<sub>3</sub>. *Todo aquello que nos interesa estudiar (parte del universo), en este pueden haber subsistemas interactuando.*

E<sub>7</sub>. *Es una parte del universo en la cual estamos interesados en estudiar su comportamiento e interacciones.*

Desde la perspectiva teórica de este proyecto, tener dos invariantes distintos frente a las mismas situaciones, sugiere que un esquema puede tener varios invariantes distintos, lo que significa que el dominio de una situación puede requerir invariantes distintos o bien el uso de esquemas diferentes cuya esencia conceptual es diferente.

Según la teoría de los campos conceptuales, se pueden poner en acción varios esquemas para dar cuenta de una situación. Cuando aún así el sujeto no resuelve la situación, la salida (si presenta una predisposición para un aprendizaje significativo) es construir un modelo mental en su memoria de trabajo y, para eso, utiliza lo que ha percibido de la situación y probablemente, algunos invariantes operatorios (adecuados o no) de los esquemas que no han funcionado.

Las variaciones de las respuestas a las preguntas P13, P14 y P15, que se pueden ver en la tabla 2, están dirigidas a indagar sobre la identificación de variables de estado. Seguidamente, se interpretan y describen los resultados a estas preguntas desde los fundamentos teóricos de la investigación. Al considerar las respuestas a la pregunta P13, aunque hay un ligero aumento porcentual en la variación de las respuestas correctas, sin embargo, hay que anotar que entre respuestas incorrectas y quienes no contestaron en la prueba final, la proporción es muy alta 76,9%. Este resultado sugiere que no se identifican las variables de estado, o sea, no se identifican las cantidades físicas que describen el estado y la evolución del sistema. Contrasta con las respuestas a P15, que propone una situación física de la misma naturaleza, prácticamente idéntica, y ante la cual, los resultados son apreciablemente diferentes, lo que lleva a sugerir, que posiblemente no existe un esquema, claro y definido, para situaciones en las que están involucradas variables de estado en una situación de carácter mecánico.

Sin embargo, al revisar las respuestas a P14, se encuentra un panorama diferente. No solamente es mayor el porcentaje de respuestas correctas, sino que sus justificaciones insinúan la existencia de probables conceptos-en-acto que como la presión, el volumen y temperatura, son identificadas como variables de estado, que permiten describir el estado del sistema y los posibles cambios de estado. Así lo confirma la argumentación para justificar la opción d elegida como respuesta:

E<sub>6</sub>, "Presión, volumen y temperatura, son variables de estado, no importa la forma en que el gas cambie de un estado a otro, solamente las variables que indican como se encuentran en ese estado de mayor presión, menor volumen, baja temperatura etc".

Respuestas	P13 (%)		P 14 (%)		P 15 (%)	
	P.I	P.F	P.I	P.F	P.I	P.F
Correctas	7,7	23,0	30,7	76,9	15,4	46,1
Parcialmente correctas	0,0	0,0	23,0	15,4	0,0	38,5
Incorrectas	84,6	61,5	15,4	7,6	76,9	15,4
No Contestan	7,7	15,4	30,7	0,0	7,7	0,0

Tabla 2.- Resultados comparativos de la prueba inicial y final para las preguntas P13, P14 y P15.

En el mismo sentido se manifiesta la justificación del alumno E<sub>5</sub> cuando argumenta:

E<sub>5</sub> "en un gas ideal, cualquier cambio en una de estas variables modificará el estado del gas".

En los dos casos de estudiantes referidos, sus respuestas, revelan la presencia de un posible teorema-en-acto, que relaciona las variables de estado, y que se podría enunciar en los siguientes términos: *cambios de variables de estado modifican el estado del gas.*

Estas situaciones físicas resueltas por los estudiantes permiten establecer que ante situaciones de naturaleza mecánica, no hay evidencias de conceptos y teoremas-en-acto en relación con variables de estado, cambios de estado e interacciones, elementos que sí están presentes cuando se trata de situaciones termodinámicas. De hecho se plantea una especie de dicotomía entre el tratamiento de los fenómenos mecánicos y termodinámicos, que hace evidente los efectos de procedimientos de instrucción anteriores que marcan ostensiblemente estas diferencias.

*Análisis comparativo de los resultados de las Pruebas Inicial y Final sobre el concepto de equilibrio*

Teniendo en consideración la totalidad de las respuestas de los estudiantes y el significado del concepto de equilibrio aceptado actualmente en el ámbito científico, se definieron categorías, para analizar las respuestas de los estudiantes y conocer los significados que atribuyen al concepto de equilibrio cuando resuelven situaciones variadas propuestas por el docente. De acuerdo con estos supuestos, se definieron las siguientes categorías:

1. *Equilibrio como un estado de un cuerpo o de un sistema en el que la fuerza neta que actúa sobre el sistema es igual a cero.* Las respuestas, incluidas dentro de esta categoría, parecen manifestar indicadores de un posible teorema-en-acto: *equilibrio, igual a fuerzas nulas actuantes sobre el sistema.* Así, lo corroboran los alumnos E12 y E10, en sus explicaciones:

E<sub>12</sub>. *Es cuando la suma de las fuerzas de los sistemas interactuantes es cero.*

E<sub>10</sub>. Cuando todas la fuerzas que actúan en un sistema se anulan  
$$\sum \vec{F} = 0$$

2. El equilibrio como un estado en el que se cumplen condiciones o reglas para que en un cuerpo, sistema, partícula, materia, no haya perturbaciones y permanezca sin cambios su estado. Encontramos también, entre las respuestas coherentes con esta categoría, un posible teorema-en-acto: *en equilibrio un cuerpo no tiene cambios en su estado*. Expresiones formuladas por los estudiantes E<sub>2</sub>, E<sub>5</sub>, E<sub>6</sub>, E<sub>7</sub> y E<sub>8</sub>, apoyan esta inferencia de conocimiento implícito utilizado por los alumnos.

E<sub>2</sub>. Estado al que puede llegar un sistema, en el cual los elementos que lo conforman mantienen una igualdad o estado ideal entre cada una de las propiedades físicas.

E<sub>5</sub>. Es el estado de uno o varios sistemas que no están cambiando en algunos aspectos.

E<sub>6</sub>. Estado de reposo, un sistema en estado de reposo se define también como de movimiento continuo a menos que la continuidad se altere por un agente externo.

E<sub>7</sub>. Equilibrio es cuando no hay cambios de estado.

E<sub>8</sub>. Estado de equidad, balance.

3. El equilibrio interpretado de diversas formas, que no tienen elementos comunes entre sí. El análisis interpretativo de las respuestas de los alumnos que reúnen las características de esta categoría, no ha permitido reconocer posibles conocimientos-en-acción. Así lo muestran los estudiantes E<sub>4</sub> y E<sub>16</sub>:

E<sub>4</sub>. Al igual que sistema, equilibrio para nuestra Física es aplicable a muchas cosas, cuerpos rígidos, Termodinámica específicamente calorimetría. Es decir hablamos de equilibrio térmico, una polea en equilibrio (sistema de poleas) entre otros.

E<sub>16</sub>. Estado en el cual se encuentran varios sistemas y donde se puede establecer una relación genérica entre sus variables.

En primer lugar, se observa que la mayor parte de las respuestas conciben el equilibrio como un estado en el cual no hay cambios, incluso llegan a expresar, de manera explícita, el estado de reposo, y de manera implícita, el estado de equilibrio como un estado inercial (E<sub>6</sub>), que podría identificarse como un teorema-en-acto así, *equilibrio es estado de reposo, sin cambios o equilibrio es estado inercial de los cuerpos*.

Desde la perspectiva del marco teórico de la investigación, se puede dar cuenta de algunos conocimientos relacionados con el concepto de equilibrio. En primer lugar éste, se entiende como un estado, en el que se cumplen algunas reglas o condiciones y, al mismo tiempo, los alumnos se refieren al equilibrio como un estado en el que no pasa nada, nada cambia, todo permanece. El esquema de equilibrio más frecuente utilizado por los estudiantes, tiene aparentemente conceptos-en-acto, como el concepto de estado, y un teorema-en-acto en el que se cumplen unas condiciones o reglas, fuerza neta igual a cero, para mantener un estado de reposo, o en el que no cambia nada. Así lo expresan algunos estudiantes:

E<sub>2</sub>. Estado al que puede llegar un sistema, en el cual los elementos que lo conforman mantienen una igualdad o estado ideal entre cada una de las propiedades físicas.

E<sub>7</sub>. Equilibrio es cuando no hay cambios de estado.

E<sub>12</sub>. Es cuando la suma de las fuerzas de los sistemas interactuantes es cero.

Pasamos ahora a describir e interpretar, en base a estas categorías, las respuestas de los alumnos a algunas preguntas de las Pruebas inicial y final en relación con el concepto de equilibrio. En la tabla 3, se presentan los porcentajes de respuestas de acuerdo a su grado de proximidad a los significados científicos, para las preguntas P2, P5 y P6. En la pregunta P2, se ilustran situaciones gráficas de equilibrio; mientras que diversas relaciones entre equilibrio y transformaciones de energía aparecen en P5; los alumnos debían justificar condiciones de equilibrio en sus respuestas a la pregunta P6. En un primer momento, los porcentajes de variaciones favorables en P6, pueden ser indicativos de mayor comprensión del concepto de equilibrio, en contextos diversos. Esto puede llevar a pensar en una adecuada aplicación de las condiciones de equilibrio mecánico a cada una de las situaciones, sin que se logre más allá del 69,2%.

En relación a los porcentajes que figuran en la pregunta P<sub>5</sub>, se observa que el nivel de incompreensión o desconocimiento del concepto de equilibrio, en relación con las transformaciones, como una situación continua de desequilibrio en un campo conservativo, se mantiene después de la intervención de aula.

Respuestas	P2 (%)		P5 (%)		P6 (%)	
	P.I	P.F	P.I	P.F	P.I	P.F
Correctas	38,5	69,2	0.0	7,7	7,7	69,2
Parcialmente correctas	30,7	23.0	15,4	0.0	15,4	23.0
Incorrectas	23.0	7,7	61,5	76,9	76,9	7,7
No contestan	7,7	0.0	23.0	15,4	0.0	0.0

Tabla 3.- Resultados comparativos de las pruebas inicial y para las preguntas P2, P5 y P6.

Este análisis descriptivo de las respuestas de los alumnos refuerza la interpretación, de que el estado de equilibrio se exprese conceptualmente como un estado o situación en que se cumplen las condiciones de equilibrio mecánico  $\sum \vec{F} = 0$  y  $\sum \vec{\tau} = 0$ . Dentro del marco teórico de esta investigación, significa que algunos alumnos hacen uso de un posible teorema-en-acto, que se puede enunciar en los siguientes términos: *equilibrio, estado que cumple condiciones de nulidad*. Este resultado, es coherente con el desconocimiento de las relaciones entre cambios de estado o transformaciones de energía, lo que sugiere ir más a fondo y llegar hasta la enseñanza de la energía, tema por cierto controvertido y discutido en numerosas investigaciones y propuestas didácticas. Es decir, no hay evidencias de conocimientos en acción en relación con estos temas que presuntamente nos parece se han evocado.

En la tabla 4, se presentan los resultados comparativos para las respuestas a las preguntas P10, P11 y P12. La variación altamente favorable que aparece en P10, refleja el hecho que el concepto de equilibrio térmico resulte ser tan familiar como lo es el mismo concepto de equilibrio en general. De acuerdo con las aportaciones teóricas subyacentes a la investigación, pensamos que se puede tratar del mismo esquema de equilibrio enunciado anteriormente, pero alterando la condición o regla que debe cumplir, y que ahora es, la igualdad de las temperaturas cuando los dos cuerpos o sistemas están en contacto. No sucede lo mismo con el concepto de equilibrio termodinámico en P11, si bien, es conveniente puntualizar que estos contenidos son tratados al final del semestre.

Respuestas	P10 (%)		P11 (%)		P12 (%)	
	P.I	P.F	P.I	P.F	P.I	P.F
Correctas	15,4	92,3	0,0	0,0	7,7	38,5
Parcialmente correctas	30,7	7,7	7,7	38,5	0,0	0,0
Incorrectas	46,1	0,0	53,8	61,5	69,2	61,5
No contestan	7,7	0,0	38,5	0,0	23,0	0,0

Tabla 4.- Resultados comparativos de las pruebas inicial y final para las preguntas P10, P11 y P12.

La pregunta P12, está ligada no sólo a la idea de cambio de estado termodinámico, sino también al concepto de equilibrio termodinámico, sin embargo, los alumnos reconocen más atributos y propiedades del concepto de equilibrio; mediante la resolución de las tareas propuestas por el docente; el significado del equilibrio ha experimentado una progresiva evolución conceptual hacia el adoptado en la ciencia. En este caso, confluyen el concepto de equilibrio y la idea de cambio de estado, haciéndose extensivo el uso del concepto de equilibrio al de equilibrio termodinámico, aún sin precisar las condiciones de este último.

### Consideraciones conclusivas

El análisis realizado de las respuestas de los alumnos a las Pruebas al inicio y final del semestre, en el que se impartió la docencia, han llevado a reconocer algunos elementos del conocimiento implícito, a la luz de la teoría integradora de esquemas y modelos mentales, uno de los referentes teóricos de la investigación. La trascendencia de explicitar este conocimiento sobre conceptos como el de *sistema* y *equilibrio*, radica en el hecho de que estos conceptos son nucleares y precursores para la adquisición de nuevos conocimientos de Mecánica y Termodinámica.

Coincidimos con Moreira (2002), al comentar algunas ideas de la teoría de los campos conceptuales acerca de los conocimientos previos de los estudiantes: *es normal que los alumnos presenten tales concepciones y que sean consideradas como precursoras de conceptos científicos a ser adquiridos*. En el mismo sentido, Greca y Moreira (2002), desde la perspectiva de los modelos mentales de Johnson-Laird afirman que: *los modelos mentales generados por los estudiantes para la explicación y predicción de situaciones físicas, dentro del ámbito escolar, son determinados tanto por el conocimiento general de los estudiantes como*

por ciertos invariantes o presupuestos más fundamentales que funcionarían como núcleos de esos modelos mentales, los cuales, pueden evolucionar hacia esquemas de asimilación. Aunque en este trabajo se presentan resultados parciales de la investigación, éstos son coherentes con las predicciones de la teoría, y nos permiten inferir algunas consideraciones conclusivas, que se exponen a continuación:

En primer lugar, confirmar la importancia de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje significativo de conocimientos relativos a la Mecánica y Termodinámica. Es decir, que los significados adecuados que de estos conceptos posean los estudiantes pueden favorecer la construcción de nuevos conceptos en el campo de la mecánica y termodinámica; por el contrario, las dificultades encontradas en su comprensión, se convertirán en obstáculos para nuevos aprendizaje. Así, el reconocimiento correcto de los sistemas que interactúan en una situación física dada, permite identificar las fuerzas que actúan sobre un sistema. Si se quiere que un estudiante identifique las fuerzas que actúan sobre un sistema o cuerpo, es preciso que posea invariantes operatorios que sean científicamente adecuados. De acuerdo con los referenciales teóricos de la investigación, se podría decir que el concepto de sistema se constituye en un concepto nuclear, precursor de nuevos conocimientos científicos.

Se ha encontrado también que el concepto de sistema está relacionado con otros dos conceptos, el de conjunto y el de interacción. Así, se logra identificar un posible concepto-en-acto, relacionado con situaciones involucrando un sistema, *conjunto de elementos, o de cuerpos*. Conceptos-en-acto son propiedades, cosas que se aplican a una situación dada. Entonces cuando los alumnos se enfrenten a una situación que involucre el concepto de sistema, la idea de conjunto de elementos o de cuerpos será pertinente.

En relación con el concepto de equilibrio, se logra identificar posibles teoremas-en-acto tales como, *equilibrio igual a suma de fuerzas igual a cero y torque neto nulo* o en equilibrio, *un cuerpo no tiene cambios*. Por supuesto, que se presenta la posibilidad de identificar un teorema-en-acto, más general, *equilibrio estado que cumple condiciones de nulidad*. Estas condiciones para los alumnos podrían ser de reposo en el caso mecánico o de diferencia de temperatura igual a cero para los sistemas o cuerpos en contacto en el caso térmico. El equilibrio es esencialmente un estado. En general, el equilibrio además de interpretarse como un estado que cumple condiciones, se encontró que su significado es muy variado y diverso, pues es interpretado, como estabilidad, armonía, igualdad, permanencia, equivalencia.

Con base en la experiencia de aula y los resultados obtenidos en los análisis, se sugiere introducir una unidad adicional sobre equilibrio y sistemas, interacciones y conservaciones, en los cursos introductorios de Física, que contribuya a la adquisición de estos conceptos físicos de equilibrio, sistema, interacción, estado, cambios de estado y funciones de estado, transformaciones y conservaciones, como unos conceptos precursores, o mediadores en la adquisición de nuevos conocimientos físicos fundamentales de los cursos mencionados y para cursos posteriores.

Cuando el sujeto enfrenta una situación que reconoce como nueva, entonces, para resolverla, puede hacer uso del conocimiento implícito en los invariantes operatorios, que forman parte de alguno de los esquemas que no han funcionado para acometer la situación; de este modo, puede construir un modelo mental que le permite dar respuesta a la tarea; las posibles inferencias resultantes del modelo mental pueden ocasionar transformaciones en el mismo. Es decir, los modelos mentales son recursivos y deben ser funcionales para el sujeto. Mientras que, los invariantes se caracterizan por su naturaleza implícita y, en consecuencia, es necesario provocar que los estudiantes expliciten esos conocimientos mediante una propuesta adecuada de una variedad de situaciones; sólo a través de la acción es como los significados no correctos se van progresivamente aproximando a los consensuados en una comunidad científica. En la medida que estos conocimientos posibilitan comprender nuevos problemas, en contextos diferentes a aquellos en los que se han comprendido, tendríamos un indicativo de que el aprendizaje del alumno está más cercano al aprendizaje significativo.

Este trabajo ha tenido como objetivo fundamental identificar posibles invariantes operatorios, más expresamente, teoremas y conceptos-en-acto sobre los conceptos de sistema y equilibrio, considerados como conceptos precursores para un aprendizaje significativo de la Mecánica y Termodinámica. A través de la acción mediadora del docente, es posible que los estudiantes expliciten los significados que están empleando de esos conceptos cuando se enfrentan a la resolución de diversas situaciones. Tal vez los logros obtenidos apenas sean parciales, sin embargo, queda un horizonte abierto, que bien vale la pena seguir, para promover un aprendizaje significativo de la Física.

### Referencias bibliográficas

- Ausubel, D.P.(1976). *Psicología educativa. Un punto de vista cognitivo*. México: Trillas
- Ausubel, P.D. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Barcelona: Paidós.
- Arons, A.B. (1999). Development of energy concepts in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 67, 12, 1063-1067
- Costa, S.S.C y Moreira M.A. (2002). O papel da modelagem mental dos enunciados na resolução de problemas em Física. *Revista Brasileira de Ensino em Física*, São Paulo, 24,.1, 61-74
- Cotignola, M.I. *et al.* (2002). Difficulties in learning thermodynamic concepts: Are they linked to the historical development of this field? *Science & Education* 11, 279-291.
- Covaleda, R. *et al.* (2005). Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(1). Em: <http://www.saum.vigo.es>.
- Greca, I. y M.A. Moreira (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora. *Investigações*

em *Ensino de Ciências*, 7,1,25-53. En <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.

Greca, I. y M.A. Moreira (2005). *Representações mentais, modelos mentais e representações sociais*. Textos de apoio para pesquisadores em Educação em Ciências. Porto Alegre:Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Grimellini, N., *et al.* (1983). Understanding conservation of laws in mechanics: Students' conceptual change in learning about collisions. *Science Education*, 77,2, 169-189

Gring, E. *et al.* (2006). Possíveis indicadores de invariants operatórios apresentados por estudantes em conceitos de Termodinâmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 24,.1-9.

Gulyaev, S. *et al.* (2002). A map of science: general systems theory as a conceptual framework for tertiary science education. *International Journal of Science Education*, 24,7, 753-769.

Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33,9,1019-1041.

Johnson-Laird, P. (1983). *Mentals models. Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge: Harvard University Press.

Leite, M. y M. Almeida (2001). Compreensao de termos científicos no discurso da ciencia. *Revista brasileira de Ensino de Física*, 23,4, 458-470.

Luffiego, M. *et al.* (1984). Systemic model of conceptual evolution. *International Journal of Science Education*, 16,3, 305-313.

Michinel, J.L. *et al.* (1993) Concepciones no formales de la energía en textos de física. *Revista Enseñanza de la Física*, 6,2 ,37-53.

Moreira, M. A. (2002). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências* 7,1. Em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci>.

Moreira, M.A. (2004). *La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, La enseñanza de las ciencias y la investigación en el área*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Moreira, M.A. (2005). Modelos mentales. *Representações mentais, modelos mentais e representações sociais*. pp.7-45 Porto Alegre:Instituto de Física da UFRGS.

Piaget, J. (1975). *L'équilibration des structures cognitives*. Paris:PUF (Trad. Cast. De E. Bustos: La equilibración de las estructuras cognitivas. Madrid:Siglo XXI).

Pozo, J.I. (1999) Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17,3, 513-520.

Reif, F. (1995). Understanding and teaching important scientific thought processes. *American Journal of Physics*, 63,1, 17-32.

Tipler, P.A. y G. Mosca (2005). Física para la ciencia y la tecnología. Vol. 1. Barcelona: Reverté

Van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of research based instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59.10, 891-897.

Vergnaud, G. (1990) La théorie des champs conceptuels. *Récherches en Didactique des Mathématiques*, 10 ,239, 133-170.

Vergnaud, G. (1993). Teoria dos campos conceituais. In Naser,L.(Ed.). *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*, pp.1-16

## Anexo

### Cuestionario de indagación conceptual

Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Instituto de Física.

Proyecto de Investigación en Enseñanza de la Física. Curso de Física I

Los conceptos de Sistema y de Equilibrio en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Mecánica y la Termodinámica.

Nombre \_\_\_\_\_ Teléfono \_\_\_\_\_

Programa \_\_\_\_\_ Semestre \_\_\_\_\_ Edad \_\_\_\_\_

#### Situaciones acerca de Sistemas y Equilibrio.

Se trata de indagar acerca de los conceptos de sistema y equilibrio que poseen los estudiantes de cursos básicos de Mecánica y Termodinámica y, para ello, se proponen algunas preguntas y situaciones que pueden ser resueltas por escrito y/o gráficamente.

1. Describa con sus propias palabras lo que entiende o comprende por:

- Sistema.
- Equilibrio.

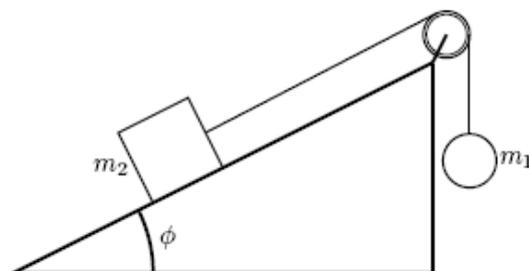
2. Ilustre gráficamente tres situaciones en las cuales cada sistema esté en equilibrio.

3. Considere el hecho de colocar su mano sobre la superficie de una mesa, ejerciendo una fuerza sobre ella; los sistemas interactuantes son:

- La mesa y la fuerza normal a la mano.
- La fuerza normal a la mesa y la fuerza de la mano.
- La fuerza que ejerce la mesa y la mano.
- La mesa y la mano.

Justifique su elección.

4. En la siguiente situación física, dos masas  $m_1$  y  $m_2$  unidas por una cuerda ideal (cuya masa se desprecia) que pasa por una polea ideal (polea sin rozamiento y sin masa o despreciable), las fuerzas que actúan sobre la masa  $m_2$  son:



- La fuerza que ejerce la masa  $m_1$  y la fuerza de fricción de  $m_2$  sobre el plano inclinado.
- La fuerza que ejerce la masa  $m_1$ , la fuerza de fricción del plano inclinado sobre la masa  $m_2$  y la debida a la cuerda.

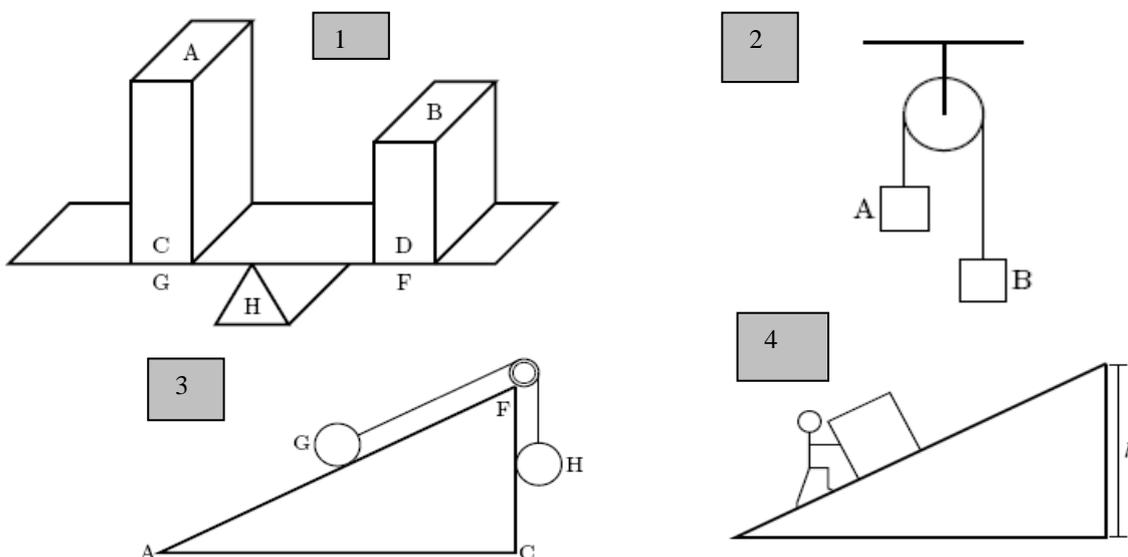
c. La fuerza debida al peso de  $m_2$ , la que ejerce  $m_1$  y la fuerza de fricción de la masa  $m_2$  sobre el plano inclinado.

d. La fuerza que ejerce  $m_1$ , la fuerza de fricción que ejerce el plano inclinado sobre la masa  $m_2$  y la fuerza normal que ejerce el plano inclinado sobre la masa  $m_2$ .

Justifique su elección.

5. En las siguientes situaciones, en las que se presentan transformaciones de energía durante: a) un salto con garrocha, b) lanzamiento de bala y c) salto de altura, ¿puede establecer alguna relación entre ellas?

6. En cada una de las siguientes situaciones, en las cuales los sistemas están en equilibrio, explique y justifique las condiciones para lograr dicho equilibrio.



7. En cada una de las situaciones planteadas, identifique:

- Los sistemas que interactúan
- Cuál es el efecto que puede observar como resultado de la interacción en cada caso
- Nombre la(s) interacción(es) que pudo identificar.

Situaciones planteadas.

- Una carreta baja por una calle inclinada.
- Una persona va caminando por la calle y pisa una mancha resbaladiza de aceite y luego cae al piso.
- Un recipiente con agua cubierto herméticamente y permanece en reposo en un cuarto.
- Una piedra que es lanzada dentro de un estanque con agua.
- Una olla de aluminio colocada sobre una mesa de la cocina.
- El aire que sube en la vecindad de un calefactor en un cuarto.

- g. Agua que hierve en una olla sobre una estufa.
- h. Un planeta que gira alrededor del Sol.
- i. Parado sobre el piso, usted salta verticalmente hacia arriba

8. Ilustre gráficamente o en forma escrita:

- a. Un sistema que muestre cambios de estado a través de interacciones entre sus subsistemas.
- b. Un sistema que no cambia de estado mientras experimenta interacciones con otros sistemas.

9. Describe en detalle, en términos de sistemas y transformaciones de energía, los cambios que suceden cuando se lanza una bola hacia arriba, llega a su máxima altura y regresa al piso. (Puede despreciar todos los efectos resistivos del aire en el movimiento de la bola).

10. ¿Qué entiende por "equilibrio térmico"? ¿Qué sucede en una situación de equilibrio térmico?

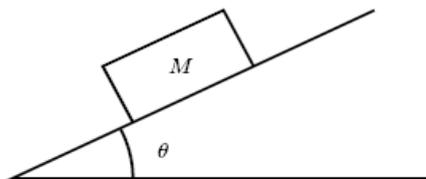
11. ¿Qué entiende por equilibrio termodinámico? y ¿qué es lo que está en equilibrio?

12 Un cambio de estado termodinámico:

- a. Ocurre solo cuando cambian todas las variables del sistema
- b. Ocurre solo para un sistema abierto.
- c. Requiere de una fuente de calor.
- d. No puede tener lugar en un sistema completamente aislado en equilibrio.

Justifique su elección.

13. En la figura, un bloque de masa  $M$ , se desliza sobre un plano inclinado, con fricción.



Las variables de estado que describen el movimiento del sistema son:

- a. La masa  $M$  y el ángulo  $\theta$ .
- b. La masa  $M$ , el ángulo  $\theta$  y la fuerza de fricción.
- c. La aceleración de la masa  $M$ , la masa  $M$  y el ángulo  $\theta$ .
- d. La velocidad de la masa  $M$ , el momento y el ángulo del plano inclinado.

Justifique la selección.

14. Considere como un sistema, un gas ideal confinado en un recipiente cerrado de volumen  $V$  que se encuentra a una temperatura  $T$  y a presión  $P$ . Las variables de estado son:

- a. La masa, la temperatura y la presión.
- b. La temperatura, el volumen y la masa. La velocidad promedio de las partículas, el volumen y la presión.

c. La presión, la temperatura y el volumen.

Justifique su elección.

15. Un esquiador se desliza sobre una montaña hacia abajo por una pendiente de ángulo  $\theta$  con la horizontal, con un coeficiente de fricción  $\mu_c$ . Las variables de estado que describen el movimiento del esquiador son:

- a. La velocidad, la masa y el coeficiente de fricción.
- b. El peso del esquiador, el coeficiente de fricción y la masa.
- c. La aceleración de la gravedad, el peso del esquiador y el ángulo de la pendiente.
- d. La velocidad del esquiador y el ángulo de la pendiente.

16. Una silla vacía está en reposo sobre el piso. Considere las siguientes fuerzas:

- A. La fuerza de gravedad.
- B. Una fuerza hacia arriba ejercida por el piso.
- C. Una fuerza neta hacia abajo ejercida por el aire.

¿Qué fuerzas están actuando sobre la silla?

- a. A solamente
- b. A y B
- c. B y C
- d. A, B y C
- e. Ninguna de las fuerzas. Puesto que la silla está en reposo, no hay fuerzas actuando sobre ella.