

Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios

Rodrigo Covalada¹, Marco Antonio Moreira² y M^a Concesa Caballero³

¹Instituto de Física. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UdeA. A.A Medellín, Colombia. E-mail: rcova@fisica.udes.edu.co

²Instituto de Física, UFRGS. Cx. Postal 15051.91501-970 Porto Alegre, Brasil. E-mail: moreira@if.ufrgs.br

³Departamento de Física. Facultad de Ciencias.UBU. Plaza Misael Bañuelos s/n. 09001 Burgos, España. E-mail: concesa@ubu.es

Resumen: Este artículo presenta los primeros resultados y análisis de un proyecto de investigación cuyo objetivo es caracterizar las representaciones mentales que utilizan estudiantes universitarios del curso Física I para dar significado a los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica y la termodinámica. Igualmente pretende establecer el papel que desempeñan dichos conceptos en el proceso de enseñanza, y como inciden en el proceso de aprendizaje de la física en el ambiente del aula de clase. El proyecto se enmarca dentro de la investigación de carácter cualitativo, exploratorio y se realiza con estudiantes universitarios de la Universidad de Antioquia Medellín, Colombia.

Con base en la coherencia y relacionabilidad de sus respuestas y los conceptos y su aplicación ante situaciones propuestas, se intenta establecer el nivel de conceptualización logrado por los estudiantes, de los conceptos en referencia. El proyecto toma como fundamento teórico las teorías del Aprendizaje Significativo de Ausubel y la teoría de los Campos Conceptuales de G. Vergnaud consideradas referentes teóricos complementarios en las cuales se enfatiza la conceptualización, y la existencia de conceptos básicos precursores en la adquisición de nuevos conocimientos

Palabras claves: sistema, equilibrio, estado, interacción, conceptualización.

Title: Meanings of the concepts of sistem and equilibrium in the learning of mechanics. An exploratory study with college students

Abstract: This paper presents preliminary findings of a research project designed to identify and characterize mental representations used by introductory college physics students to assign meanings to the concepts of system and equilibrium in mechanics and thermodynamics. In addition, an attempt was made to establish the role of these concepts in physics learning in classroom situations. The study was carried out under a qualitative research framework at the University of Antioquia, Medellin, Colombia.

Based on the coherence and relatability of their answers and the concepts and their application to the proposed situations, it was also attempted to establish the conceptualization level reached by the students regarding such concepts. The theoretical framework was formed by Ausubel's meaningful learning theory and Vergnaud's conceptual fields theory which were considered as complementing each other since they emphasize conceptualization and the role of already existing concepts in such a process.

Keywords: system, equilibrium, state, interaction, conceptualization

Introducción

El objeto de la física es, sin duda, el estudio del universo físico. Pretender estudiar el universo considerando toda su extensión de una forma directa, no solo resulta exageradamente ambicioso, sino realmente poco práctico y poco más o menos que imposible dada su enorme complejidad. Por ello, lo que hacemos al acometer tal tarea, es un proceso de discretización del universo físico, lo cual significa, una partición de todo ese universo, una acción de considerar tan solo una parte de él, por ser un objeto de nuestro interés. Así, de esa manera un tanto arbitraria, determinamos lo que conocemos generalmente por un sistema.

El postulado aristotélico, *el todo es más que la suma de sus partes*, se constituye en una primera definición de sistema, refiriendo el sistema como el todo.

Históricamente la idea de sistema o mejor aún, el enfoque globalizador del estudio del todo se abandonó y se acuñó para la física y para la ciencia una concepción mecanicista, de carácter reduccionista, determinista, causal y empírica que perduraría hasta cuando se enfrentaran a problemas como el de los tres cuerpos o la cuantificación de la energía, la indeterminación cuántica en el campo de la física cuya solución no era posible pensarla desde el marco de la mecánica clásica, o cuando se consideraron nuevos problemas biológicos, sociales y de la tecnología cuya solución tampoco era posible desde esta perspectiva mecanicista.

Las teorías de la física están sustentadas sobre la base de modelos, los cuales son constituidos por sistemas físicos. Son los sistemas físicos los que nos permiten aproximarnos a las situaciones físicas problemáticas y con base en las teorías existentes resolverlas exitosamente.

Tal como afirman Ragout y Cárdenas (2002, p. 589) *...es ampliamente aceptado el hecho de que la física, como una ciencia experimental trata con teorías o modelos matemáticos en las cuales las propiedades de los objetos estudiados son representadas por variables cuantitativas*. La idea que subyace en esta afirmación es la de sistema, es decir, Ragout y Cárdenas implícitamente están señalando la importancia de este concepto en la construcción del conocimiento físico.

De igual manera se encuentra en Guidoni y Arca (1987) su referencia al concepto de sistema al estudiar el mundo físico. Dada su complejidad, el planteamiento es el de fragmentar o discretizar en partes más fácilmente analizable ese mundo físico, a través de la operación cognitiva de separar objetos de lo continuo a lo discreto, es decir, la discretización del mundo físico; en síntesis construir sistemas. Esta concepción de sistema encierra un modo de pensar como un todo, como una totalidad, lo que vemos formado de partes relacionadas entre sí y con otras partes que forman el ambiente externo, ligadas por relaciones, procesos, intercambios, que dependen tanto de las relaciones internas, como de las relaciones con el ambiente exterior.

Algunos estudios se refieren directa o indirectamente al concepto de sistema, en especial cuando se trata el problema de los modelos y la modelación en Física, como el de Lemeignan, G. y Weil-Barais, A. (1994) quienes al investigar sobre los modos de representación del mundo físico de los estudiantes, consideran necesario cambiar dichos modos de presentación, a través de procesos de cambio, entre distintas representaciones que llegan a ser sistémicas.

La concepción de equilibrio, al igual que la de sistema, es una construcción que tiene carácter transdisciplinar y su uso resulta ser muy familiar en las distintas actividades y disciplinas. Su significado en las ciencias y, en particular en la física, tiene connotaciones muy precisas cuya comprensión podría ser obstaculizada por interpretaciones ligadas a otras fuentes y usos del concepto de equilibrio en el día a día.

El concepto de equilibrio desde la perspectiva newtoniana está relacionado directamente con el concepto de fuerza, concepto fundamental sobre el cual se explican y predicen los fenómenos mecánicos y específicamente los estáticos que corresponden con el estado de equilibrio (no hay traslación) para una partícula $F=0$ y con el estado de equilibrio para un sistema de muchas partículas (no hay traslación, ni rotación) $\Sigma F=0$ y $\Sigma \tau=0$.

Históricamente resulta no solo interesante, sino de alguna manera conveniente, en especial cuando se trata de enseñanza de la física, conocer alguna otra concepción de equilibrio, como la de Stevin Magie, W P (1969), para quien según Ayala y otros (2000, p. 491), *el equilibrio puede ser visto como cancelación de acciones* y esas acciones tiene una fuente común, que es el peso y la acción es el poder del peso en una condición específica.

En el ámbito de la enseñanza Sciarreta, M.R y Vicentini, M. (1990), señalan la importancia de dedicar más atención de la usual a los procesos que conducen al equilibrio, en lugar de ocuparse solamente de los estados de equilibrio, incluyendo no solo equilibrio térmico sino también otras clases como el mecánico.

Aguiar, Jr O. (2002, p.325) al referirse al equilibrio térmico afirma: *" en cuanto al concepto de equilibrio térmico buscamos establecerlo progresivamente, particularmente de nociones intuitivas de los estudiantes, que aceptan en algunas circunstancias, lo mismo que limitada a ciertos casos*

típicos, la igualdad final de temperatura no es totalmente extraña a los estudiantes.

La importancia de los conceptos de sistema y equilibrio, en el aprendizaje de la mecánica y de la física en general, que se ocupa fundamentalmente de estudiar sistemas del universo físico y en equilibrio, particularmente en el estudio de la termodinámica, que precisamente es definida para sistemas termodinámicos muy bien determinados y en estado de equilibrio, se observa no sólo en las referencias ya citadas, sino en el hecho que se constituyen en conceptos nucleares que permiten la comprensión de nuevos conocimientos en la mecánica y en la termodinámica, tal como lo afirma Moreira (2002) al referirse a las ideas de Vergnaud sobre los conocimientos previos, *es normal que los alumnos presenten tales concepciones y que ellas deben ser consideradas como precursoras de conceptos científicos a ser adquiridos y a su vez con base en hallazgos de sus investigaciones.* Greca y Moreira (2002) desde la perspectiva de los modelos mentales de Johnson-Laird expresan, 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 conceptos o presupuestos más fundamentales que funcionarían como núcleos de esos modelos mentales.*

Es preciso señalar en el objetivo de este trabajo, nuestro interés por identificar y caracterizar los significados y representaciones mentales que los estudiantes asignan a conceptos como sistema y equilibrio, ya que, de acuerdo con los referentes teóricos de la investigación, estos se consideran precursores en la adquisición de nuevos conocimientos científicos en el campo de mecánica y la termodinámica.

Marco teórico

El marco referencial de este trabajo se inscribe en los aportes a la investigación educativa, de las Teorías del Aprendizaje Verbal Significativo de David Ausubel y los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud.

La teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel es una teoría cognitiva de aprendizaje, referida al aula de clase, cuyo factor fundamental más importante, es el conocimiento antecedente del estudiante; ello significa existencia de conceptos, ideas, creencias en su estructura cognitiva, conocidos como subsunsores, cuyos aspectos más relevantes interactúan con los nuevos conceptos, teorías, o informaciones presentados al alumno mediante un material potencialmente significativo. La interacción entre el material potencialmente significativo y los conceptos más relevantes de la estructura cognitiva del alumno es un proceso cognitivo denominado, *teoría de asimilación*, en el que se modifican significados ya existentes y se adquieren nuevos significados. Estos significados son incorporados a la estructura cognitiva del que aprende y a su vez posibilitan nuevos y más amplios aprendizajes. En el proceso de asimilación se modifican, tanto los conceptos

ya existentes en la estructura cognitiva del sujeto que aprende, como los nuevos conceptos presentados para su aprendizaje.

La Teoría de los Campos Conceptuales de G. Vergnaud es una teoría psicológica de los conceptos, la cual asume la conceptualización de lo real como el núcleo del desarrollo cognitivo y considera la misma, la piedra angular de la cognición. (Vergnaud 1998, p.173). Para G. Vergnaud, el conocimiento esta organizado en campos conceptuales y estos son considerados como conjuntos de problemas, situaciones, conceptos, relaciones contenidos y operaciones de pensamiento relacionados unos con otros y probablemente entrelazados durante el proceso de adquisición. (Vergnaud,1982, p. 40, citado por Moreira, 2002).

Los conceptos de esquema (concepto piagetiano heredado por Vergnaud), situaciones, invariantes operatorios (conocimientos y teoremas en acción), y su propia concepción de concepto, la cual expresa el concepto, como un triplete formado por situaciones, invariantes operatorios y representaciones, $C=(S,I,R)$, constituyen el núcleo de su teoría de desarrollo cognitivo de la conceptualización de lo real. Según Vergnaud, la adquisición del conocimiento está moldeada, determinada por los problemas y situaciones que el aprendiz, domine previamente, reconociendo de este modo la existencia de unas primeras concepciones, las cuales se han modificado a través de la experiencia y dan lugar a otras nuevas. Así, la conducta del sujeto frente a una situación, está en concordancia con los esquemas disponibles, con los cuales pueda resolver exitosamente la situación, o generar un nuevo esquema para salvar favorablemente la misma.

La caracterización de los significados desde las perspectivas de las teorías de Ausubel y Vergnaud, está en relación con el conocimiento previo y así lo enfatiza Ausubel (2002, p.39) *es común que los detalles de una disciplina dada se aprendan con rapidez en la medida en que se puedan ajustar a un marco contextual que conste de un corpus de conceptos y principios generales estables y apropiado*. Vergnaud argumenta en relación con las dificultades que encuentran los estudiantes al intentar comprender los modelos científicos, que éstas están relacionadas con el conocimiento de ciertos elementos conceptuales como conservación, sistema, interacción y estados entre otros, los cuales deben ser considerados como precursores de conocimientos científicos a ser aprendidos.

Estas ideas y conceptos, corresponden a los conocimientos previos que según Vergnaud contienen los conocimientos y teoremas en acción, es decir, los invariantes operatorios, que sin ser conocimientos científicos pueden evolucionar, modificarse y dar lugar a aprendizajes científicos. Es en estos invariantes operatorios que se deben investigar los conocimientos en acción del sujeto, afirma Vergnaud (1990).

De este modo, resulta necesario identificar cuales son los conocimientos previos y con mas precisión, cuales son esos conocimientos y teoremas en acción que posee el estudiante, a partir de los significados que asignan a los conceptos de sistema y equilibrio y que constituyen parte de sus esquemas.

Estas dos teorías consideran la importancia de los conocimientos previos, pues para Vergnaud, *las concepciones previas contienen los teoremas y conceptos en acción*, y esos conocimientos pueden evolucionar hasta llegar a ser conceptos y teoremas científicos; además para lograr el aprendizaje de ciertos conceptos científicos, el estudiante debe poseer ciertas concepciones consideradas como precursoras de conceptos científicos. Para Ausubel el aprendizaje significativo se caracteriza por la interacción entre los conocimientos previos y los nuevos conocimientos y en esa interacción se adquieren nuevos significados, modificando los existentes y los nuevos conocimientos. Las dos teorías no sólo son compatibles, sino resultan ser complementarias y aún más, la teoría de los Campos Conceptuales como bien afirma Moreira (2002,p.16) es el *referencial adecuado para analizar la estructura final de la teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel*.

Al considerar las ideas de la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud sobre los conocimientos previos y las respectivas del Aprendizaje Significativo de Ausubel, este trabajo adopta como marco teórico el conjunto de compatibilidades y complementariedades que se pueden establecer entre estas dos teorías, y por tanto, la caracterización de los significados, de los conceptos de sistema y equilibrio esta en relación con los conocimientos previos y los conocimientos en acción o invariantes operatorios de los alumnos que se puedan identificar al interactuar frente a las situaciones físicas propuestas en relación con los conceptos de sistema y equilibrio.

Metodología, análisis y resultados

Este proceso de investigación exploratorio se llevó a cabo en la Universidad de Antioquia, con estudiantes universitarios del curso introductorio de Física I, con una muestra de N=60 estudiantes voluntarios de ingeniería y física, de tres grupos diferentes, que cursaban la última semana del curso de Física I y quienes dieron respuesta a un cuestionario a través del cual se intenta establecer el conocimiento que ellos tienen de los conceptos de sistema y equilibrio, y de cómo aplican estos, ante situaciones propuestas relativas a los mismos conceptos. Este cuestionario fue validado en su contenido por un colega experto en la temática del mismo y se conforma por ocho preguntas de naturaleza discursiva (ver Anexo 1). Las respuestas a la pregunta 5 no se tomaron en cuenta para el análisis, porque no se entendió la situación planteada como la paradoja hidrostática sino como una balanza de brazos iguales y en ese caso las respuestas no aportaron información diferente de la que se obtuvo en la pregunta 4.

La pregunta 1 pretende que los estudiantes escriban en sus propios términos el significado del concepto de sistema. Las preguntas 6, 7 y 8 plantean situaciones que involucran los concepto de sistema, interacciones, variables y cambios de estado en las que se pretende que los estudiantes al resolver dichas situaciones, identifiquen sistemas, interacciones y evidencias de cambios de estado en los sistemas, ilustren gráfica o verbalmente situaciones en que se muestren cambios de estado debido a la presencia de

interacciones, y finalmente se le propone identificar las variables de estado del sistema, considerando la máquina de Atwood.

La pregunta 1b tiene como objetivo que los estudiantes describan en sus propios términos su concepción de equilibrio. Las preguntas 2, 3, 4 plantean situaciones que están dirigidas a establecer el significado del concepto de equilibrio a través de su representación gráfica, la relación del equilibrio y los estados de energía y la aplicación del concepto de equilibrio en tres diferentes situaciones de equilibrio.

El análisis de los resultados se realizó tomando en cuenta todas y cada una de las respuestas de los estudiantes y estableciendo para cada concepto de sistema y equilibrio distintas categorías de acuerdo a la diversidad de significados que ofrecen las respuestas de los estudiantes. Las categorías se establecieron a partir de la caracterización de los conceptos de sistema y equilibrio. El criterio para establecer las categorías del concepto de sistema, tomó como referente conceptual, el sistema como un conjunto constituido por elementos, cuerpos, o subsistemas, las relaciones entre los elementos o entre los subsistemas con el ambiente externo, las interacciones, las variables que describen los cambios o transformaciones, y las ecuaciones de estado, que dan cuenta del sistema mismo de una parte del universo físico.

Para el concepto de sistema se establecieron tres categorías. La categoría 1, considera el concepto más general de sistema, en ella prevalece la concepción de conjunto de elementos, cuerpos, relaciones e interacciones. En las subcategorías se establecen diferencias que implican el reconocimiento de relaciones, interacciones y de un propósito determinado. La categoría 2, considera una variedad de significados al concepto de sistema, que al menos aparentemente no tienen nada en común. La categoría 3, corresponde con la idea de sistema más usualmente enunciada en los textos de física.

Esta categorización permite no solo apreciar las diversas y variadas interpretaciones y significados asignados por los estudiantes a los conceptos de sistema y equilibrio sino también establecer a su vez ciertas relaciones entre el nivel de dominio del concepto y el éxito en la solución de las situaciones propuestas.

Con relación al concepto de sistema y, a partir de las respuestas dadas por los estudiantes, en la pregunta 1a se establecieron tres categorías, que se precisan en las tablas 1a y 1b

La categoría 1, es de gran generalidad, tiene como concepto común el de conjunto, que está compuesto por una variedad de elementos, como cuerpos, cosas, situaciones, aparatos, materiales, por lo que es posible derivar varias subcategorías. El 66,7% (ver tabla 2) de las respuestas de la muestra corresponden a esta categoría.

Categoría 1			
Sistema como un conjunto de elementos, cuerpos, situaciones aparatos, interacciones, propiedades, objetos, materiales			
Subcategoría 1.1	Subcategoría 1.2	Subcategoría 1.3	Subcategoría 1.4
Conjunto de elementos, cuerpos, cosas, propiedades, objetos que se relacionan entre sí.	Conjunto de elementos, cuerpos, cosas que se relacionan y/o interactúan entre sí.	Conjunto de fuerzas, en un espacio determinado para realizar un trabajo.	Conjunto de elementos organizados de alguna manera que interactúan o no, pero que tienen un fin determinado

Tabla 1a.- Categoría 1 y subcategorías del concepto de Sistema.

Categoría 2	Categoría 3
Sistema en términos de una variedad de significados en los que figuran componentes información gráficos, esquemas, métodos, proceso, referencias.	Sistema como una parte del universo que nos interesa estudiar.

Tabla 1b.- Categorías 2 y 3 del concepto de Sistema

En la subcategoría 1.1 el sistema como, *Conjunto de elementos cuerpos, cosas, objetos, propiedades que se relacionan entre sí*, se destaca el hecho de explicitar relaciones entre los elementos o cuerpos. Veamos algunos enunciados de los estudiantes que ilustran esta categoría:

"sistema un conjunto de cuerpos que tiene una relación entre sí y pertenecen a un grupo en si" (E₃¹)

"sistema conjunto de elementos físicos que se encuentran relacionados entre sí, que cumplen con determinadas propiedades" (E₄₅)

"sistema es un conjunto de elementos, conectados entre sí, que llevan a cabo una acción" (E₄₇)

En la subcategoría 1.2 el sistema, como un conjunto de elementos, cuerpos cosas, objetos, propiedades que interactúan entre sí, se destaca la interacción entre los elementos y la dependencia del estado de cada uno o de los resultados que se produzcan. Los enunciados siguientes nos muestran esta caracterización:

¹ E₃, se refiere a las respuestas del estudiante según numeración asignada en las pruebas.

"es un conjunto de factores que interactúan entre sí y uno depende de cada uno de los demás" (E₄)

"conjunto de elementos que interactúan entre sí" (E₆)

"conjuntos de elementos (cosas) que interactúan entre sí de forma tal que se obtenga un resultado específico (determinado)" (E₄₁)

"conjunto de objetos, situaciones, particularidades, leyes, conceptos, condiciones etc. que interactúan todos o algunos entre sí para producir o generar un resultado" (E₅₀)

En la subcategoría 1.3 el sistema, como conjunto de fuerzas, en un espacio determinado para realizar un trabajo, el significado tiene características de acción física y a la idea de trabajo físico, por acción de un conjunto de fuerzas. Los enunciados: siguientes así lo expresan:

"Es un conjunto de fuerzas que actúan sobre un cuerpo en un espacio determinado" (E₃₄)

"Conjunto de fuerzas que actúan entre sí para realizar un trabajo" (E₅₁)

La subcategoría 1.4 el sistema, como conjunto de elementos de alguna manera organizados, que interactúan o no, pero que tiene un fin determinado, dan lugar a pensar en un significado ligado a proceso o actividad encaminada a un fin determinado, y refleja de alguna manera la idea de proceso. Veamos algunos enunciados:

"es un conjunto de elementos que trabajan en unión con el fin de lograr un objetivo específico" (E₃₇)

"Es un conjunto de aparatos o componentes que cumplen o desempeñan una función de actividad o trabajo determinado" (E₃₈)

"como conjunto de elementos en el que estos interactúan entre sí para que se produzcan unas reacciones o procesos" (E₁₆)

En la categoría 2, el sistema es expresado en términos de una variedad de interpretaciones en las que figuran *conjunto de situaciones, componentes, información, gráficos, esquemas, métodos, procesos, referencia*", se desprende de las distintas respuestas la variedad de significados y se puede anotar que es muy poco probable que puedan resolver situaciones físicas que involucren el concepto de sistema a partir de estas concepciones. Los enunciados de algunas respuestas dejan ver la variedad conceptual al respecto:

"conjunto de diferentes componentes con ciertas características que describen una situación" (E₂₈)

"coherencia y relación entre varios componentes que conducen a un fin común" (E₁₉)

"cuando se plantean unos esquemas (ordenados) en forma coherente de acuerdo a unos teoremas que se pueden demostrar, la condición es que sea: ordenado e inteligible" (E₃₂)

"defino sistema como el gráfico que me muestra unas circunstancias especiales del movimiento de un cuerpo o las fuerzas que actúan sobre este" (E₃₆).

En la categoría 3, el *sistema como una parte del universo que nos interesa estudiar*, expresión que proviene de los textos universitarios de Física y que curiosamente en esta muestra solo un 5% (ver tabla 2) comparten este significado, cuando se podría esperar un porcentaje mayor. Los siguientes enunciados expresan esta categoría:

"parte del universo que escoge para estudiar" (E₂₉)

"es una pequeña porción del universo, que en determinada situación se quiere analizar, los alrededores del sistema se define como aquellas partes del universo que están directamente con su comportamiento" (E₅₉)

Categoría 1				Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4
66,7%				25%	5%	No responde 3,3%
Subcategorías						
1.1	1.2	1.3	1.4			
11,7%	30%	5%	20%			

Tabla 2.- Distribución porcentual de las respuestas de los estudiantes de las categorías del concepto de Sistema.

A partir de estas categorías, que se establecen con base en las repuestas de los estudiantes, se deduce que los estudiantes interpretan el concepto de sistema con muy variados significados cuyo origen probablemente proviene en buena proporción de los procesos instruccionales, el 66.7 % (ver tabla 2) poseen la idea de sistema como un conjunto o bien de elementos o de cuerpos y cuando esos elementos o cuerpos tienen relaciones entre sí, sólo lo comparten un 11.7% (ver tabla 2), cuando se refieren a la existencia de interacciones entre los elementos del mismo conjunto o con el exterior la proporción llega al 30% de toda la muestra; sin embargo, curiosamente ninguno menciona el hecho de que estas interacciones son causa de los cambios del sistema, ni los posibles efectos o evidencias de la presencia de interacciones en las situaciones propuestas.

De igual manera, en ningún caso se refieren a las variables del sistema, ni a las ecuaciones de estado, ni a ninguna otra propiedad distinta de la energía o en algún caso la velocidad que caracteriza un sistema.

Al revisar los resultados de la pregunta 6, que plantea una serie de situaciones en donde el objetivo es identificar los sistemas interactuantes, las evidencias de la acción de una interacción y las interacciones presentes, se observa que sólo un 16,7 % (ver tabla 3) respondieron, o al menos, identificaron uno de los dos sistemas que interactuaban, las fuerzas (interacciones) que se ejercían sobre dichos sistemas y los cambios causados por las fuerzas (interacciones) que actuaron sobre dichos cuerpos o sistemas.

Respuestas	P6	P7	P8
Parcialmente Correctas	16,7%	20%	43,3%
Correctas	1,66%	---	3,3 %
Erradas	45 %	50%	16,7%
No Contestaron	36,7%	30%	36,7%

Tabla 3.- Distribución porcentual de las respuestas a las preguntas 6, 7 y 8.

De las respuestas de algunos estudiantes que contestaron parcial o completamente se observa que expresan los cambios observables en términos de la energía cinética y potencial. En general no se identifican propiedades físicas de un sistema con las variables del mismo.

Al hacer un análisis de algunas de las respuestas a las preguntas 1, 6 y 8, todas ellas dirigidas a indagar por el conocimiento y dominio del concepto de sistema, no es posible establecer en general un cierto nivel de coherencia entre los conceptos y las soluciones dadas, y por supuesto, relaciones más definidas que puedan explicar como logran resolver esas situaciones. Sin embargo, es claro también que otras situaciones de la misma clase no son resueltas exitosamente, lo que significa que no aplican la misma estructura conceptual y, por tanto, estos resultados se convierten de alguna manera inicial en un indicativo de la debilidad conceptual o de su ausencia, en relación con los conceptos de sistema e interacción.

Con el fin de estimar cualitativamente la coherencia y posibles relaciones entre el significado de un concepto como sistema, su utilización para resolver situaciones y las soluciones a las situaciones propuestas que involucran dicho conceptos y otros relacionados como estado e interacción, se han tomado al azar las respuestas de cuatro estudiantes y se han seleccionado las preguntas 1, 6, 7 y 8, cuyo texto se puede ver en el Anexo 1, y sus respuestas se analizarán para los casos mencionados.

No se consideraron las respuestas a la pregunta 7, porque no aportan información que contribuya de alguna manera al análisis de las conclusiones, excepto que nos muestran evidentemente la imposibilidad de los estudiantes de identificar las variables de estado, lo que está ligado al hecho de no reconocer las propiedades de los sistemas respectivos en cada situación propuesta.

Se trata, por tanto, de establecer relaciones y coherencia entre la conceptualización de los estudiantes del concepto de sistema y la solución frente a situaciones propuestas.

Veamos ahora las respuestas de cada uno de los estudiantes seleccionados y un breve análisis que pueda reportar los posibles hallazgos.

E. 46 Sólo respondió la pregunta 6, de la cual se puede anotar que relaciona acertadamente interacción con cambio de estado. El cambio de estado lo interpreta como cambio de posición y se refiere también a la transformación de energía potencial en energía cinética. Aunque no define sistema, implícitamente reconoce dos sistemas interactuantes, la tierra (tablón) y la carreta. En obvia equivocación atribuye a la interacción electromagnética los efectos que se deben a la interacción gravitacional.

Pregunta 1.

No respondió.

Pregunta 6.

"evidentemente la carreta se acelera gracias a la interacción electromagnética con la tierra. Su energía pasa de ser potencial a ser cinética. Cambia su posición".

De la respuesta se explicitan los tres numerales de la pregunta:

Evidencia de interacción. Cambio de posición. La carreta acelera. Transformación de energía potencial en energía cinética.

Sistemas interactuantes. Implícitamente reconoce dos sistemas, la tierra y la carreta.

Interacciones. Asigna equivocadamente a la interacción electromagnética la acción correspondiente a la acción gravitacional de la tierra.

Pregunta 8.

No respondió.

E.49 Al responder las preguntas 6 y 8 es coherente con su concepción de sistema, en la que resalta la relación entre los elementos del sistema. Tiene claro cuales son los sistemas interactuantes Carreta y tablón, la interacción gravitacional y el cambio de estado que se presenta, relacionado con posición inicial y final y la transformación de energía potencial a energía cinética. Ignora la fuerza de fricción.

En la pregunta 8 está presente la idea de un sistema (el cuerpo humano) con muchos subsistemas (partes del cuerpo humano) que interactúan entre sí y cambian de estado al sistema. Dentro de este contexto del dominio de los conceptos de sistema, estado e interacción, resulta inexplicable no responder el numeral 8.

Pregunta 1.

"sistema, conjunto de cosas que se relacionan entre sí"

Pregunta 6.

"Evidencia: la carreta se desplaza de un punto inicial a uno final gracias a que pierde energía potencial y gana energía cinética"

"la interacción es gravitacional"

"Sistemas interactuantes la carreta y la tabla"

Pregunta 8a

"el cuerpo humano el cual está lleno de subsistemas que cuando cambian de estado se reflejan en el sistema completo"

Pregunta 8b

"No sé"

E.50 La solución de la pregunta 6 deja ver claridad y coherencia en relación con su concepción de sistema como conjunto de una diversidad de elementos disímiles cuya característica es interactuar entre sí con un fin determinado. Así mismo explicita los sistemas interactuantes, carreta, tablón y tierra y las interacciones gravitacionales y electromagnéticas. El cambio de estado los estima a través del cambio de la velocidad y agrega aumento de la energía cinética mientras baja el tablón.

En la pregunta 8 mantiene su coherencia con el concepto de sistema, considera las partes del carro como partes del sistema y el cambio de estado de reposo a movimiento se lo atribuye equivocadamente a la interacción entre sus partes y no con el exterior.

Pregunta 1.

"Es un conjunto de objetos, situaciones, particularidades, leyes, conceptos, condiciones, etc. que interactúan todas o algunas entre sí para producir o generar un resultado"

Pregunta 6

"evidencia. Cambio de estado, se mueve (reposo o movimiento).

Se puede notar que aumenta la velocidad, gana energía cinética mientras baja por el tablón. Interactúan la carreta, el tablón y la tierra (interacciones gravitacionales y electromagnéticas)".

Pregunta 8a

"Un carro o automóvil. Debido a la interacción entre sus partes (motor, llantas, etc.), este cambia de reposo a movimiento o de movimiento a reposo".

Pregunta 8b

"Una reacción química, si la tomamos como un sistema, al interactuar un compuesto con otro este puede producir cambios muy fuertes y otros no tanto (bombas, pegantes, etc)".

E.59 La solución a la pregunta 6 es coherente con su concepción de sistema, pues define bien con qué otros sistemas u objetos interactúa la carreta. Así mismo identifica la fuerza de atracción gravitacional y la fuerza de fricción como las que interactúan con la carreta. De igual manera el cambio de estado de movimiento de la carreta es debido a la fuerza de atracción gravitacional. En relación con la pregunta 8^a resulta sorprendente que sólo admite los cambios de los sistemas a interacciones externas. En la pregunta 8^b ilustra gráficamente con una lámpara colgada del techo en reposo, cuando el sistema no cambia de estado, mientras interactúa con la tierra y con el techo.

Es coherente con su concepción de sistema, pues para él, son otras partes del universo las que están directamente relacionadas con el comportamiento del sistema.

Pregunta 1.

"Sistema: Es una pequeña porción del universo, que en determinada situación se quiere analizar. Los alrededores del sistema se definen como aquellas otras partes del universo que están directamente con su comportamiento".

Pregunta 6.

"la carreta interactúa con la tierra, el tablón inclinado y el aire. Hay un cambio de estado de movimiento de la carreta, debido a la fuerza de atracción gravitacional. Interacciones: la tierra ejerce la fuerza de atracción gravitacional, el aire le ejerce cierta fricción igual que el tablón inclinado"

Pregunta 8a.

"Imposible. Los cambios de estado de un sistema se deben a interacciones externas. No internas".

Pregunta 8b.

"Una lámpara suspendida en un techo. No cambia de estado mientras interactúa con la tierra y con lo que la sostiene del techo El análisis de estos cuatro casos refleja la variedad conceptual respecto al concepto de sistema ya observada en la categorización de las respuestas de todos los estudiantes de la muestra y aún así se puede establecer para estos casos, que si su concepción de sistema esta referida a relaciones o interacciones entre los elementos del sistema, por lo menos, identifican las interacciones que actúan sobre el sistema. Si bien no precisan en algunos casos los cambios de estado, las variables de estado o evidencias de la acción de una interacción, o no resuelven correctamente todas las preguntas, se observa que existe un cierto grado de conceptualización en el que entran en juego una diversidad de interpretaciones que debilitan el concepto con el cual resuelven las situaciones propuestas, no siempre exitosamente.

Las categorías establecidas en relación con el concepto de equilibrio, se establecieron tomando como referente conceptual el equilibrio, como el estado de un sistema sobre el que la acción resultante de fuerzas externas se anulan

o dicho de otra manera, cumple las condiciones de equilibrio mecánico y dicho sistema permanece en su estado de reposo o de movimiento con velocidad uniforme.

En relación con el concepto de equilibrio, con base en las respuestas de los estudiantes de igual manera se establecieron varias categorías que nos muestran la variedad de significados asignados por los estudiantes al concepto en consideración. En el criterio para definir las se partió de la caracterización del concepto de equilibrio e ideas de conservación, reposo, estado y condiciones de equilibrio. La categoría 1, considera el equilibrio como un sistema que cumple ciertas condiciones, que implican a su vez que al sistema no le pasa nada. La categoría 2, establece que las acciones en los cuerpos o sistemas cumplen condiciones de compensación o funcionamiento. La categoría 3, el equilibrio es un estado de cuerpos o sistemas que no cambia. La categoría 4 el equilibrio es expresado por medio de expresiones de condiciones de equilibrio, tal como son definidas en los textos de física. Finalmente la categoría 5, recoge diversos significados que no permiten establecer una característica en común.

Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5
El equilibrio como "un sistema que cumple ciertas condiciones que implican que al sistema mismo no le cambia nada"	El equilibrio interpretado como "una situación en la cual un cuerpo, un sistema cumple ciertas condiciones de compensación, funcionamiento"	El equilibrio interpretado como "un estado de un cuerpo, sistema, partícula, materia en la que no hay cambios, ni alteraciones, ni movimientos"	El equilibrio interpretado como "una sumatoria, igualdad, balance, proceso, momento de fuerzas nulas, velocidad constante"	El equilibrio interpretado de muy diversas formas

Tabla 4.- Categorías del concepto de Equilibrio

En la categoría 1, el equilibrio como *un sistema que cumple ciertas condiciones que implican que al sistema mismo no le cambia nada*. Se recogen ideas mezcladas de conservación en el sentido de que no se modifica el estado de un sistema y aunque sucedan acciones sobre el sistema o bien se balancean, o hay una acción que compensa la primera, y finalmente en el sistema no se altera nada. Así lo expresan los siguientes enunciados de esta categoría:

"sistema en el cual no hay modificación o alteración de ninguna clase con respecto a su estado. Hay equilibrio de fuerzas, termodinámico, químico, entre otros" (E₁₂)

"sistema que se encuentra balanceado" (E₂₆)

"compensación de un sistema en el cual todos sus componentes intervienen para que se realice o no realice cierta actividad" (E₄₅)

"decimos que un sistema presenta situación de equilibrio si para algún momento o para algún intervalo de tiempo, se garantiza que las cantidades que modifican su estado de movimiento son nulas." (E₅₇)

En la categoría 2, el equilibrio es interpretado como una situación en la cual un cuerpo, un sistema cumple ciertas condiciones de compensación, funcionamiento, y se aproxima a la categoría 1, sin embargo la diferencia radica en el hecho de considerar el equilibrio una "situación" que cumple ciertas condiciones, y esas condiciones son de estabilidad, de funcionamiento, de ausencia de movimiento. Veamos algunas respuestas entre otras:

"es una situación en la cual un sistema busca una homogeneidad entre sí" (E₄)

"situación en la cual las variables de un sistema se estabilizan" (E₆)

"es una situación que permite el buen funcionamiento de un sistema, generalmente ocurre cuando el sistema está estático" (E₁₃)

"es una situación donde no hay ninguna clase de movimiento, en un cuerpo o en un conjunto de cuerpos relacionado" (E₂₀)

"es una situación en la cual hay ausencia de movimiento" (E₄₇)

En la categoría 3, el equilibrio es interpretado como un estado de un cuerpo, sistema, partícula, materia en el que no hay cambios, ni alteraciones, ni movimientos, lo que ya establece una diferencia significativa, pues aparece la noción de estado, o bien de un cuerpo o de un sistema, en el que no hay cambios, ni se altera el estado del cuerpo o del sistema, así actúen fuerzas o haya otras acciones, pues estas se anulan. Los enunciados siguientes son clara muestra de esta categoría:

"equilibrio es un estado en el cual se tiene las mismas características" (E₅)

"estado de un total control estático de un sistema determinado por medio de balances físicos, químicos" (E₇)

"estado en el que un sistema no es alterado o perturbado por factores externos" (E₁₅)

"es un estado en el cual un cuerpo permanece ya sea estático o con un movimiento uniforme. Todas las fuerzas que actúan sobre dicho cuerpo dan lugar a una sumatoria nula" (E₁₇)

"es un estado en el cual a una partícula no se le aplica fuerza o la suma de ellas es igual a cero, las fuerzas se anulan." (E₄₆)

"estado de un sistema, en la que los factores que alteran las variables del mismo (tales como calor, presión, temperatura, movimiento,...) se encuentran en igual medida en cada uno de los elementos, de manera que al actuar juntos, sus variables en cualquier tiempo sean las mismas." (E₅₄)

"estados de un sistema en el cual no se presentan variaciones de ningún tipo(velocidad, posición, temperatura, energía etc)" (E₅₆)

La categoría 4, en la que el equilibrio es interpretado como, *una sumatoria, igualdad, balance, proceso, momento, de fuerzas nulas, velocidad constante*, aunque no precisa si es un cuerpo o sistema el que esta en equilibrio, explicita las condiciones del equilibrio; ahora es claro, la sumatoria de fuerzas es cero y aparece con más énfasis la equivalencia de estado de equilibrio, con estado de reposo o en algún caso estado natural. Estas respuestas lo enuncian con claridad:

"es un sistema en el que la sumatoria de fuerzas es igual a cero" (E₂)

"es una propiedad que tienen sus cuerpos de mantenerse en reposo o con velocidad constante siempre y cuando no haya agentes externos que hagan que esto cambie" (E₅₃)

"cuando la fuerza neta(la sumatoria de fuerzas) que actúa en un objeto hace que permanezca estático o con velocidad constante" (E₅₂)

"equilibrio es cuando las fuerzas que están actuando sobre unos cuerpos, no cambian las condiciones iniciales de este es decir la suma de fuerzas es igual a cero" (E₃₀)

La categoría 5, recoge las interpretaciones o significados asociados al equilibrio que por si solos no constituyen una categoría, que si bien pueden contener elementos comunes con alguna de las categorías anteriores, es su enunciado el que los hace *"formas muy diversas"*. Los enunciados de estas respuestas nos lo muestran sencillamente:

"es el momento estático que tiene un punto cuando está afectado por unas fuerzas" (E₈)

"concordancia o equivalencia entre dos cosas o dos sistemas específicos" (E₂₄)

"es aquello que permite que un objeto o cuerpo permanezca en su estado natural" (E₂₈)

"instante en el que alguna cosa no se mueve, rota, o se traslada" (E₃₃)

"condición que poseen los cuerpos de permanecer inmóviles o en movimiento casi estático, debido a fuerzas que rigen dicha condición como son el peso, la gravedad, fricción, etc., generalmente dichas condiciones deben ser semejantes para lograr tal fin" (E₃₈)

Sin duda, es el concepto cuya significación e interpretación esta ligada a más diferentes fuentes, unas de carácter social y religioso, otras del cotidiano y finalmente las que provienen de los principios físicos, o sea, como producto de procesos de enseñanza de la física. Resulta interesante observar la distribución porcentual de las categorías del concepto de equilibrio que se muestran en la tabla 5.

Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5
30 %	11,7 %	23,3 %	23,3 %	11,7 %

Tabla 5.- Distribución porcentual de las respuestas para el concepto de Equilibrio.

La distribución porcentual de las respuestas de las categorías cuantitativamente, tal vez no da lugar a alguna conclusión en especial, excepto anotar que la categoría 4 solo es compartida por el 23,3% de la muestra y se esperaría que este porcentaje fuese mayor, aunque solo se expresan las condiciones para lograr el equilibrio, pues los estudiantes ya habían estudiado el tema de la estática y las condiciones pertinentes. Otro aspecto que se observa, es el de la equivalencia entre reposo y equilibrio y de una manera implícita una noción de conservación de un estado o de las condiciones que significa a su vez equilibrio, que subyace y es independiente de las acciones que se ejercen sobre el sistema o el cuerpo. De igual manera se observa como el uso del lenguaje implica concepciones diferentes, como por ejemplo, el equilibrio es "una situación", o es "un sistema", o es "un estado" o es "una sumatoria de fuerzas", diversidad conceptual que sin duda puede conducir a confusiones en la aplicación del concepto o en la adquisición de nuevos conocimientos.

El análisis de la pregunta 2 (ver tabla 6), en la que se les pide ilustren gráficamente tres situaciones de equilibrio, se observa en el conjunto de la muestra que recurren a situaciones:

- r Relacionadas con balanzas de brazos iguales o sistemas semejantes como barras con masas iguales en los extremos y punto de apoyo en el centro de masa, o balancines para niños. En este caso un 55% de la muestra se inclinó por esta situación que ejemplifica el estado de equilibrio.
- r De igual manera se observó el hecho de utilizar una polea con dos cuerpos de igual masa en reposo colgando de la cuerda, el cual es un ejemplo clásico de los textos de física. En este caso un 26,6 % de la muestra consideraron este una situación que ilustraba el equilibrio.
- r Una variedad de situaciones que indudablemente fueron recordadas de los textos de física y en particular de las lecciones de estática, tomadas para ilustrar casos de equilibrio, que constituyen el 51,6% de la muestra.
- r Sólo un 10% de las respuestas consideraron situaciones que incluían a la vez equilibrio mecánico, equilibrio térmico e incluso en una situación equilibrio químico.

Respuestas	Porcentajes
1. Situaciones ligadas a balanzas de brazos o sistemas semejantes	55%
2. Situaciones con uso de poleas de masa iguales.	26,6%
3. Situaciones de equilibrio tomadas de los textos	51,6%
4. Situaciones que incluían equilibrio mecánico, térmico o químico.	10%

Tabla 6.- Pregunta 2.

Las respuestas de la pregunta 3, no aportan información complementaria a la de las situaciones planteadas en las preguntas 1b, 2 y 4, sólo nos muestran que los estudiantes no establecen relación alguna entre energía y el estado equilibrio.

En la pregunta 4, el 66,6% dieron una explicación correcta a las situaciones de equilibrio propuestas. Estas explicaciones tiene como elementos teóricos la aplicación de condiciones de equilibrio rotacional $\Sigma\tau = 0$ y la aplicación intuitiva de la ley de la palanca, criterio que puede provenir mas de la experiencia diaria, que de la instrucción formal.

Consideremos ahora el texto de las preguntas 1b, 2 y 4 (ver Anexo 1) en relación al concepto de equilibrio. Veamos ahora el análisis de coherencia y relacionabilidad entre el concepto de equilibrio y la solución ante las situaciones propuestas que nos puede reportar nueva información o reforzar los resultados encontrados.

Para el efecto tomamos la misma muestra de estudiantes ya seleccionada para el análisis del concepto de sistema, dejando claro que no se trata de un estudio de casos.

E 46 Su concepto de equilibrio está fundamentado en las condiciones de equilibrio tanto de traslación como de rotación de una partícula o de un sistema de partículas. Aplica apropiadamente dichas condiciones y establece con claridad que el equilibrio es un estado.

Pregunta 1b.

"Es un estado en el cual a una partícula no se le aplica fuerza o la suma de ellas es igual a cero. Las fuerzas se anulan". Incluye el dibujo de un cuerpo en reposo bajo la acción neta de fuerzas iguales".

Pregunta 2.

"Cuerpo que flota en un líquido" Representa vectorial y gráficamente las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.

"Cuerpo en reposo sobre una superficie"

"Persona en equilibrio levantando un pie"

Pregunta 4.

4.1 "El bloque A es más pesado que el bloque B por tanto el brazo de C hasta B debe ser más largo que de C hasta a A por torques $F \cdot B$ ".

4.2. "Si los cuerpos "G" y "H" fueran iguales solo se lograría el equilibrio si la superficie del plano inclinado tiene fricción pero si por el contrario no tuviera entonces el peso de "H" debe ser igual al $\text{sen}\Phi$ por el peso de "G" suponiendo que la polea es ideal".

4.3.a. "En a todos los cubitos tiene igual peso y están a la misma distancia del fulcro".

4.3.b. "en b hay la misma cantidad de peso y el fulcro está en el centro".

4.3.c. "En c se supone que los cubos blancos pesan el doble que los cubos negros ya que el fulcro está en el centro y que en un lado hay cuatro cubos blancos y en otro hay solo dos acompañados de cuatro negros".

E 49 Su concepción de equilibrio es general, el equilibrio es un estado de un sistema, sin precisar dicho estado y enuncia situaciones de equilibrio térmico y mecánico correctamente. Es coherente y exitoso en la aplicación de sus conceptos y las condiciones de equilibrio para cada caso mecánico

Pregunta 1b.

"Es un estado de un sistema"

Pregunta 2.

"Dos cuerpos a T_1 y a T_2 y que llegan a un equilibrio térmico, cuando $T_1=T_2$."

"Una balanza de masas iguales y justifica con la expresión de sumatoria de fuerzas y sumatoria de torques iguales a cero".

"bloque en reposo sobre un plano inclinado con fricción, en el cual se cumplen las condiciones de sumatoria de fuerzas iguales a cero".

Pregunta 4.

4.1 "En este sistema para encontrarse en equilibrio deben cumplirse las siguientes ecuaciones $\Sigma F_x=0$, $\Sigma F_y=0$, $\Sigma \tau=0$ ".

4.2. " $\Sigma F_x=ma$, $\Sigma F_y=ma$ en donde las dos aceleraciones deben ser cero".

4.3.a. "En el numeral a. el sistema se halla en equilibrio siempre y cuando las masas blancas sean iguales y conserven en las mismas distancias entre las parejas que se hallan rayadas para que así $\Sigma \tau=0$ ".

4.3.b. "Sucede lo mismo y entonces si hay desequilibrio".

4.3.c. "Pero en c se observa que hay distinta distribución de los pesos para que hubiese equilibrio se debe tener en cuenta el valor de las masas para que cumpla las tres siguientes ecuaciones. $\Sigma F_x=0$, $\Sigma F_y=0$, $\Sigma \tau=0$ ".

E 50 Su concepción de equilibrio esta basada en la idea de "armonía" de connotación social o religiosa, no de carácter físico. Su idea es que no haya cambios, ni alteraciones. Sus situaciones físicas fieles a su concepción no constituyen situaciones físicas claras de equilibrio. Para resolver las situaciones de equilibrio propuestas recurre a la ley de la palanca, que es una expresión de la concepción de proporcionalidad.

Pregunta 1b.

"Son las condiciones necesarias que se deben dar para que un sistema esté en armonía y no produzca cambios o alteraciones inesperadas"

Pregunta 2.

"Balanza de la vida en la pesa defectos contra virtudes, y están en equilibrio"

"El sistema solar, con el sol y los planetas"

"Un trompo girando verticalmente"

Pregunta 4.

4.1 *"si los bloques son del mismo material y tiene iguales dimensiones (ancho y largo). El equilibrio se da gracias a que el bloque más pequeño se sitúa a distancia más amplia del eje que pasa por el punto C; que el bloque A, que es más grande. Principio de palancas"*.

4.2 *"La bola G debe ser de un material más pesado que la bola H, o debe estar sujeta a la cuerda con una longitud más larga que la de la otra cuerda. Por la acción que ejerce el plano inclinado, sobre los cuerpos"*.

4.3.a y b *"Los bloques deben estar a la misma distancia y deben tener la misma masa C(por principio de palanca)"*.

4.3.c. *"Los bloques de la izq deben ser más pesados que los de la der."*

E 59 Su concepción de equilibrio está fundamentada en las condiciones de equilibrio de traslación y de rotación para una partícula y para un sistema de partículas (cuerpo rígido) es coherente en la aplicación de las condiciones de equilibrio ante las situaciones propuestas, aun considerando la situación de la tierra girando sobre sí misma, con velocidad angular constante

Pregunta 1b.

"Equilibrio en Mecánica significa en lo que a traslación se refiere, que la fuerza neta sobre una partícula, un cuerpo rígido o un sistema es cero $V=cte$. En lo que se refiere a rotación significa que el torque neto sobre un cuerpo rígido o sobre un sistema es cero. $W=cte$. Hay dos clases de equilibrio: dinámico y estático. El primero se da cuando la magnitud de la velocidad es una constante diferente de cero(en traslación), magnitud de la velocidad angular (en rotación) y el segundo $V=0$ (traslación) y $W= 0$ (en rotación)".

Pregunta 2.

"Un cuerpo esférico en reposo $V=0$ o en movimiento con $V=cte$ ".

"La tierra girando su eje con $W=cte$ ".

"Un cuerpo de masa m colgado de un techo por medio de una cuerda, $T=mg$ ". La representación gráfica incluye la representación vectorial de las fuerzas que actúan sobre el bloque.

Pregunta 4.

4.1. *"En esta figura vamos a medir torques respecto al punto C. Supongamos que el bloque más grande tiene más masas y por lo tanto es más pesado. Si esto se da, vemos que para el cuerpo más pesado el brazo de la fuerza (peso) respecto a C es menor que el brazo de la fuerza (peso) para el cuerpo más liviano, luego para lograr el equilibrio, los torques se anulan"*

4.2 *"Aquí, para lograr el equilibrio se debe cumplir que la componente del peso paralela al plano inclinado de la esfera G, tenga la misma magnitud que el peso de H".*

4.3.a. *"Para lograr el equilibrio, los torques se deben anular. Es decir, si los bloques tienen masas iguales y están ubicadas a la misma distancia respecto al centro de torques O (por pares y en lados distintos)".*

4.3.b. *"La misma razón que en a)".*

4.3.c. *"Se deben compensar las fuerzas y los brazos para lograr que se anulen los torques. (equilibrio)"*

Se desprende de las respuestas de los estudiantes respecto al concepto de equilibrio, en primer lugar, las diferentes interpretaciones en las que utilizan distintas palabras como "sistema", "situación", "estado", "sumatoria" y "balance", que tienen en común, cumplir ciertas condiciones que garantizan que nada cambia. Nos parece que subyace por tanto un significado de equilibrio no explícito con la idea de permanencia, no cambio o reposo. Relacionado con la ausencia de cambio, creemos que el reposo es considerado una idealización del equilibrio, que se puede interpretar como un estado mecánico equivalente al del movimiento con velocidad constante.

Al considerar las soluciones se identifica la aplicación de las condiciones de equilibrio de traslación $\Sigma F=0$ y de rotación $\Sigma \tau=0$, como también se advierte como frecuentemente recurren a la aplicación de la Ley de la Palanca, posiblemente como una expresión de la concepción de proporcionalidad o de la experiencia en el uso de balanzas o como una aplicación de la condición de equilibrio de rotación $\Sigma \tau=0$.

Es por supuesto un concepto con el que los estudiantes están más familiarizados, sin embargo refleja también una variedad de interpretaciones o significaciones que van desde las condiciones de equilibrio mecánico, hasta interpretaciones como balance, armonía, concordancia o equivalencia y son en definitiva muy pocos los que argumentan desde el punto de vista físico y sobre la base de las condiciones de equilibrio de una partícula o de un sistema de partículas.

Finalmente se pueden resaltar dos hechos, el primero el utilizar el ejemplo de una balanza de brazos iguales (análoga al balancín de los niños) y el segundo, tomar ejemplos de situaciones de textos, incluso enunciados gráficos de problemas de texto, contrastando con la mínima mención de situaciones de equilibrio más familiares en el día a día.

Al hacer una estimación de los resultados, las distribuciones porcentuales de las preguntas y los resultados cualitativos de los casos considerados sobre los conceptos que son tratados en este trabajo, se observa que las conclusiones cualitativas establecen cierto nivel de concordancia con las estimaciones cuantitativas y que de estas últimas se pueden establecer ciertos niveles de coherencia y relacionabilidad entre los conceptos de sistema y equilibrio y las situaciones propuestas, por lo que creemos que en los pocos casos en que los estudiantes resuelven exitosamente las situaciones propuestas, es posible que exista una conceptualización más clara de los conceptos tratados, que en los estudiantes del resto de la muestra.

Conclusiones preliminares

Este trabajo de exploración conceptual, muestra una variedad de interpretaciones y significados que asignan a los conceptos de sistema y equilibrio, en una muestra de (N= 60), los estudiantes universitarios del nivel de Física I y constituyen las conclusiones preliminares de un estudio posterior.

Con relación al concepto de sistema, éste en general es interpretado como un conjunto de una variedad de elementos, cosas, leyes, y situaciones, que lo hacen amorfo conceptualmente, sin embargo, hay que recoger el hecho de que los estudiantes reconocen la existencia de relaciones y aún mas, de interacciones entre los elementos o cuerpos, aunque sea notable el hecho de no identificar plenamente los sistemas que interactúan, ni las interacciones, las variables de estado y los cambios de estado. Por ello, consideramos que la solución de situaciones propuestas, que no resulta en general exitosa, se convierte en un indicio muy notable de la debilidad conceptual del concepto de sistema.

No sucede igual con el concepto de equilibrio. Sin duda se observa un dominio mas generalizado y apropiado del concepto de equilibrio ante las situaciones propuestas, sin embargo, hay que anotar el uso de variadas palabras como compensación, armonía, balance, permanencia y reposo que nos hacen pensar que de alguna manera el concepto de equilibrio que manejan está ligado a aprendizajes anteriores y a fuentes muy diversas. Resulta un tanto sorprendente que aunque sólo un 23,3% (ver tabla 5) de la muestra total recurra a las condiciones de equilibrio de una partícula o de un sistema de partículas (cuerpo rígido), en su lugar el 65% (ver tabla 5) invoquen argumentos más empíricos que conceptuales, que probablemente están relacionados con el concepto de proporcionalidad intuitivo, o con el conocimiento de la ley de la palanca, y así puedan explicar o justificar las situaciones de equilibrio propuestas. También hay que anotar que se observa

una cierta interpretación de equivalencia del concepto de equilibrio, con el concepto de reposo, incluso con el movimiento con velocidad constante y de una idea de conservación del estado o situación según sus términos, en la cual finalmente, nada se altera, todo queda igual, o sea una concepción de conservación, equivalente a la idea de equilibrio.

En suma, pensamos que los estudiantes poseen una débil y muy ligera conceptualización de los dos conceptos de sistema y equilibrio, que de paso nos permite plantear un problema de aprendizaje, ¿es posible aprender nuevos conceptos científicos y ser exitoso en la solución de nuevos problemas, a partir de unos precursores para el aprendizaje de nuevo conocimiento muy pobres científicamente (Vergnaud,1999) hablando, o de núcleos de conocimiento generadores de modelos mentales igualmente incompletos?.

Cobra importancia entonces el enunciado de Vergnaud (1999) sobre la existencia de elementos conceptuales precursores del aprendizaje de nuevos conocimientos, enunciado compartido por Greca y Moreira (2002) en el sentido de reconocer la existencia de "*ciertos conceptos o presupuestos más fundamentales que funcionarían como núcleos de esos modelos mentales*" modelos mentales que se construyen cuando se adquieren nuevos conocimientos y que por supuesto son objetos de nuestro interés en la investigación en la enseñanza de la Física.

Finalmente creemos que los resultados de este estudio exploratorio y la aplicación de otros instrumentos de análisis disponibles, entrevistas, materiales de clase, sobre los cuales hemos diseñado la estrategia de intervención didáctica de aula, nos permitirán llegar a conclusiones de carácter más definitivo.

Referencias bibliográficas

Aguiar, Jr. e Filcre O.(2002). O planejamento do ensino a partir de um modelo para cambios cognitivos: um exemplo na Física Térmica. Caderno Brasileiro Física v 19 n3, p 314-340.

Arons, A.(1997). *Teaching Introductory Physics*.New York: Ed. Wiley, pp 45-65 Chp 2.

Ayala, M.M, Malagón, F. Garzón,J.Castillo J.(2001).El equilibrio según Stevin la acción como poder del peso. Revista colombiana de Física, vol 33, Nº 2.

Barais,A.y Vergnaud,G.(1990)*Students' Conceptions in Physics and mathematics: Biases and Helps*, In Caverni, J, P. Fabre, J. M and Gonzalez, M. Cognitive Biases. North Holland: Elsevier Science Publishers pp 69-84.

Bertalanffy, G.(1994). *Teoría General de Sistemas*.México:Ed. Alianza.

Finegold, M. and Gorsky P.(1991). Students' concepts of force as applied to related physical systems: A search for consistency.International Journal Science Education, vol 13, Nº 97-113.

Greca, I. e Moreira, M.A.(2002) Além da detecção de modelos mentais dos estudantes, uma proposta representacional integradora. *Investigações em ensino de ciencias*. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/inidice.htm>.

Greca, I. e Moreira, M.A.(2002) Mental, physical and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, 86, pp 106-121.

Guidoni, P. Arca, M.(1987). *Guardare per Sistemi guardare per variabili*. Barcelona: Academic Emme Edizioni

Lemeignan, G. y Weil-Barais, A.(1994). A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal Science Education*, vol 16, Nº 1, 99-120.

Magie, W.P.(1969). *A source Book in Physics*. Harvard University Press Cambridge Massachusetts pp 22-27.

Moreira, M.A.(2002). *Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud o ensino de Ciencias e a Pesquisa nesta Área*. *Rev Investigación en Enseñanza de las Ciencias*. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/inidice.htm>.

Ragoult de Lozano and Cardenas M.(2002).Some learning problems concerning the use of symbolic language in physics. *Science Education* 1,589-599.

Sciarreta, M.R. Stilli R and Vicentini Missoni M.(1990). On the thermal properties of materials: common sense knowledge of italian student and teachers. *International Journal Science Education*, vol 12, Nº 4, 369-379.

Vergnaud, G.(1993).*Teoría de los campos conceptuales*. Paris: CNRS y Universidad Rene Descartes.

ANEXO 1

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES.
INSTITUTO DE FÍSICA. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.

LOS CONCEPTOS DE SISTEMA Y EQUILIBRIO EN LA ENSEÑANZA DE LA MECANICA

Situaciones acerca de Sistemas y Equilibrio.

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

Nombre _____

Teléfono _____

Programa _____ Semestre _____

Edad _____

1. Describa en sus propias palabras lo que Usted entiende o comprende por:
 - a. Sistema.
 - b. Equilibrio
2. Ilustre gráficamente tres situaciones que impliquen equilibrio.
3. En las siguientes situaciones en las que se presentan transformaciones de energía durante a) un salto con garrocha, b) lanzamiento de bala, c) salto de altura. ¿Puede establecer alguna relación con el concepto de equilibrio en cada caso?
4. En cada una de las siguientes situaciones en las cuales los sistemas están en equilibrio, explique y justifique las condiciones para lograr dicho estado de equilibrio.

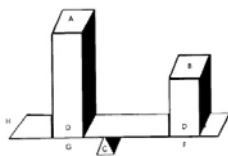


Figura 1

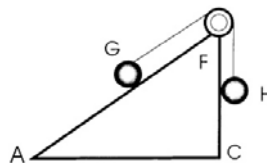


Figura 2

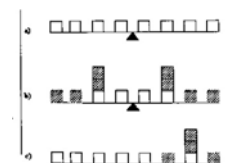
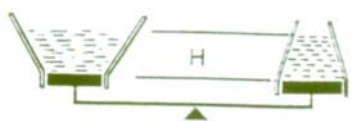


Figura 3

5. Considere las siguientes situaciones y justifique su respuesta en cada caso.



¿Está la balanza en equilibrio?

Figura 1



¿Está la balanza en equilibrio?

Figura 2

6. En cada una de las siguientes situaciones planteadas, identifique la evidencia de la ocurrencia de las interacciones si la hay, indicando que cambios puede discernir y si no hay evidencia de la interacción, dígalo explícitamente. Defina que sistemas puede Usted tomar como interactuantes y nombre las interacciones que Usted puede identificar.

- Una carreta se deja ir desde el tope de un tablón inclinado.
- Una persona va caminando por la calle pisa una mancha resbaladiza y cae al piso.
- Un contenedor cubierto hermético de agua que permanece en un cuarto.
- Una piedra es lanzada dentro de un estanque tranquilo.
- Una olla de aluminio colocada sobre un anaquel de la cocina.
- El aire que sube en la vecindad de un radiador de calor en un cuarto.
- Agua que ebulle en una olla en la estufa.
- Un planeta que gira alrededor del sol.
- Parado sobre el piso, Usted salta verticalmente hacia arriba.

7. ¿Que variables deben ser especificadas para definir completamente el estado de una maquina de Atwood durante algún instante mientras esta acelerando?

8. Ilustre gráficamente o en forma escrita:

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