

UNA PROPUESTA DIDÁCTICA PARA EL APRENDIZAJE DE LA INTERACCIÓN GRAVITATORIA

María Silvia Stipcich¹, Marco Antonio Moreira² y Concesa Caballero S.³

Resumen

Este artículo presenta una propuesta didáctica para el aprendizaje de la Interacción Gravitatoria implementada con estudiantes de 15 años de edad que son parte de la educación preuniversitaria de Argentina.

Para determinar el estado de situación se llevaron a cabo un conjunto de estudios preliminares que incluyeron: el análisis del tratamiento del concepto de interacción en los textos de uso frecuente en las clases de ciencias (universitarios y preuniversitarios), la recolección de las opiniones de los docentes sobre el rol y el significado del concepto de interacción en el currículum de Física y la identificación de las ideas de los estudiantes, de diferentes niveles educativos, sobre el mencionado concepto. Los resultados de estos estudios sirven de fundamento para decidir cuáles contenidos incluir, cómo llevar a cabo el diseño de las actividades a incorporar y cuál estilo de evaluación implementar en la propuesta didáctica que aquí se comunica. El análisis de los resultados derivados de la implementación ha puesto de manifiesto una evolución en las conceptualizaciones de los estudiantes hacia las formas científicamente consensuadas.

Palabras claves: propuesta didáctica, conceptualización, interacción gravitatoria, aprendizaje, enseñanza.

Abstract

This article presents a didactic proposal for the learning of gravitational interaction implemented with 15-year-old-students of pre-university education level in Argentina. A set of preliminary studies, which included the analysis of the implementation of the concept "interaction" in the texts commonly used in sciences classes (either in

university or pre-university levels); the gathering of teacher's opinions about the role and meaning of the concept "interaction" in Physics curriculum; and the identification of student's ideas (from different educational levels) about the concept named before, were made in order to determine the state of the situation. The results of these studies are useful as a reason to decide which contents shall be included, how to perform the design of the activities to include, and which evaluation style to implement in the didactic proposal here communicated. The analyses of the results of the implementation have shown an evolution in student's conceptualizations towards the scientifically accorded ways.

Keywords: Didactic Proposal, Conceptualization, Gravitational Interaction, Learning, Teaching.

INTRODUCCIÓN

Esta presentación se encuadra dentro de una investigación que estudia los significados que estudiantes de quince años de edad le atribuyen al concepto de interacción gravitatoria. Para obtener información sobre estos significados se realizan diferentes actividades entre las que pueden mencionarse: tests a estudiantes de diferentes niveles educativos, entrevistas con docentes y análisis de textos de nivel universitario y preuniversitario (Stipcich, Moreira, 2001, 2002; Stipcich, Moreira, Caballero Sahelices, 2003, 2004).

A partir del análisis de los resultados a las actividades mencionadas antes, se diseña e implementa una propuesta didáctica con el propósito de colaborar para que las ideas de los estudiantes evolucionen hacia las nociones científicamente consensuadas. La propuesta se lleva a cabo con estudiantes de 15 años de edad que son parte de la educación preuniversitaria de Argentina.

La investigación se enmarca, fundamentalmente, en la teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud (TCC). Se trata de una teoría cognitivista que se propone desentrañar el modo en que se genera el conocimiento. Las implicaciones psicológicas, didácticas y epistemológicas que de ella se derivan vienen mostrando una posible vía de acceso para comprender la formación de conceptos científicos en el aula.

La TCC es también una teoría pragmática ya que considera que los conocimientos que se adquieren son función de las situaciones y de las acciones que los individuos realizan sobre esas situaciones. La representación que los individuos desarrollan cuando se los enfrenta a una determinada situación es asumida como un proceso dinámico que se apropia de la forma en que la acción es organizada (Vergnaud, 1998).

Para estudiar cómo se construye conocimiento científico haciendo uso de las representaciones que los sujetos elaboran se hace necesario que esas representaciones puedan captar las relaciones que se establecen en la acción ya que la mayoría de los conceptos científicos están relacionados entre sí. El concepto central de la TCC que articula aspectos observables de la actividad de un sujeto con aspectos mentales de una representación es el concepto de esquema. Es el eje alrededor del cual es posible pensar el proceso de adaptación de las estructuras cognitivas. El esquema se define como la organización invariante del comportamiento para una cierta clase de situaciones (Vergnaud, 1990, 1998). Se trata

de un concepto heredado de Piaget al que Vergnaud resignifica poniendo especial énfasis en el contenido con el que ese esquema interactúa.

Los esquemas forman parte de todos los registros posibles de la conducta, incluidas competencias bien diferentes como los gestos, las actividades intelectuales, la afectividad, las conductas lingüísticas (Vergnaud, 1996).

Los esquemas no constituyen unidades mínimas. Por el contrario, están compuestos de cuatro ingredientes (Vergnaud, 1990):

- *Finalidades y anticipaciones* de los posibles objetivos a alcanzar con el esquema que se pone en juego.
- *Invariantes operacionales*: son los conocimientos contenidos en los esquemas.
- *Reglas de acción*: son reglas para generar la secuencia de acciones a desarrollar. Son reglas del estilo: «si... entonces» que determinan la búsqueda de información y el control de los resultados de la acción. En estas reglas están contenidos los invariantes operacionales que el sujeto emplea en la acción.
- *Posibilidades de inferencia*: permiten decidir las reglas y anticipaciones a partir de las informaciones de que dispone el sujeto.

Los invariantes operacionales, que define Vergnaud, son de dos clases:

- *Teoremas-en-acto*: son proposiciones que el sujeto tiene como verdaderas sobre lo real (Vergnaud 1996).
- *Conceptos-en-acto*: es una categoría de pensamiento considerada como relevante o un predicado asumido como pertinente para un cierto enunciado (op. cit.).

Los conceptos-en-acción son componentes esenciales de los teoremas-en-acción, pero son diferentes, guardan una relación dialéctica.

Los esquemas que los estudiantes desarrollan están condicionados por las situaciones en las que se los involucra. De allí que el concepto de situación sea otro de los conceptos clave de la TCC. Son las situaciones las que constituyen el campo de entrada a un determinado campo conceptual⁴. Es a partir de ellas que podrán estudiarse los procesos de funcionamiento y desenvolvimiento cognitivo.

⁴ Para Vergnaud el conocimiento se organiza en campos conceptuales. *Un campo conceptual es un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones de pensamiento, conectados unos con otros y, probablemente, entrelazados durante el proceso de adquisición* (1982)

«Se puede pensar en situación como un cierto complejo de objetos, propiedades y relaciones en un espacio y tiempo determinado, envolviendo al sujeto y a sus acciones» (Franchi, 1999).

Son las situaciones las responsables por el sentido que es atribuido a un cierto concepto (Barais & Vergnaud, 1990). No obstante, debe quedar claro que el sentido no está ni en las situaciones ni en el concepto sino en la relación que el sujeto establece con esa situación.

Cada dominio conceptual puede abordarse por infinidad de situaciones, de manera que el sentido de un cierto concepto resultará de los diferentes esquemas que el sujeto es capaz de desenvolver frente a una variedad de situaciones en las cuales ese concepto participa.

METODOLOGÍA APLICADA PARA LA INVESTIGACIÓN

La propuesta se desarrolla con estudiantes de un primer año de polimodal con orientación en Ciencias Naturales del Colegio de la Sierra. Se trata de uno de los colegios privados de la ciudad de Tandil en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Los estudiantes que allí concurren tienen un nivel socioeconómico de clase media-alta.

Cursan el primer año 18 alumnos con edades que oscilan entre los 14 y 15 años. En el grupo no hay alumnos repetidores y la mayoría de ellos vienen formando parte del mismo grupo desde los niveles iniciales de la educación formal dentro de la misma institución.

El rendimiento en materias de esta área oscila en alrededor de un 50% de aprobados. Porcentaje que se incrementa durante el curso académico dada la posibilidad de participar en más de una instancia de evaluación con situaciones semejantes.

La mayoría de los estudiantes que concurren a este establecimiento educativo piensan continuar estudios superiores, fundamentalmente universitarios.

El docente convocado para implementar la propuesta es Profesor en Matemática y Física egresado de la Universidad Nacional del Centro de la ciudad de Tandil, con una antigüedad de cinco años en la docencia. Es el segundo año consecutivo que trabaja con el grupo de alumnos con quienes desarrollará la propuesta didáctica y el cuarto que pertenece al personal del Colegio de la Sierra. Se trata de un Profesor que da muestras de estar comprometido con el aprendizaje de sus alumnos participando activamente de tareas de capacitación, asistiendo a reuniones con colegas que dictan materias afines

en la misma institución a los efectos de coordinar contenidos, discutir prioridades y evaluar sus propios resultados en comparación con el resto de los docentes del área. Se muestra interesado en participar de esta investigación como docente a cargo del dictado de la propuesta didáctica. Una vez que acepta su colaboración y previo al desarrollo de este tema, se pautan encuentros semanales donde se discuten los alcances de las distintas actividades propuestas, las posibles vinculaciones con otros temas ya desarrollados, la evolución que los estudiantes pudieran presentar en el abordaje del tema en cuestión, etc.

El investigador comienza a asistir al aula con dos semanas de antelación al desarrollo del tema interacciones gravitatorias a los fines de constituirse en un miembro más del grupo para cuando la propuesta comience a desarrollarse.

El clima en el cual se desarrollan las clases es entendido. Alumnos y docente se tutean y se refieren unos a otros por el nombre de pila.

El docente comienza, habitualmente, presentando alguna actividad para discutir entre todos los miembros de la clase. Luego del debate los estudiantes toman nota acerca de esa cuestión y así se prosigue. La mayoría de los alumnos dispone del texto Física Conceptual de Paul Hewitt, que ya emplean desde el año anterior.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los propósitos que guiaron al diseño de la propuesta, los contenidos que formaron parte del desarrollo, y algunas de las actividades. Por razones de espacio no se incluye a la evaluación final aunque es de destacar que las actividades que la conformaron siguieron el estilo de las actividades realizadas durante el transcurso de la propuesta.

Propósitos

Entre los propósitos de carácter más general pueden enunciarse:

- Comprender los conceptos, leyes, teorías y modelos más generales que permitan alcanzar una visión abarcadora de la Física.
- Analizar críticamente hipótesis y teorías alternativas para dar respuesta a un mismo problema.
- Valorar la importancia histórica de determinados modelos para la interpretación de ciertos fenómenos.

De carácter más específico:

- Reconocer las limitaciones del empleo del modelo de acción a distancia respecto de la noción de campo de fuerzas.
- Identificar las diferentes circunstancias bajo las cuales es posible reconocer la interacción gravitatoria,
- Identificar las variables que participan en la interacción y su influencia en la intensidad de la fuerza de atracción.

Contenidos

Los contenidos que a continuación se enuncian siguen la secuencia en la que se presenta a los estudiantes.

El problema a resolver: ¿Por qué se mueven los planetas? Antecedentes históricos. Los aportes de Newton al problema. El proceso de investigación que deriva en el enunciado de la teoría de la gravitación universal. La expresión algebraica de la fuerza gravitatoria. Predicciones a partir del enunciado de la ley. Su campo de aplicabilidad.

La fuerza gravitatoria y el resto de las fuerzas en la naturaleza.

El problema de determinar el origen de la fuerza: modelo de acción a distancia y modelo de campo de fuerzas. Las limitaciones en el empleo de una u otra alternativa.

Determinación del valor de la aceleración de la gravedad. La representación del campo gravitatorio.

Las interacciones y las fuerzas.

Tal secuencia tiene características diferentes respecto de las que habitualmente proponen los textos. En primer lugar, los contenidos se abordan como una manera de dar respuesta a un problema asumiendo que *“Los problemas tienen un poder especial para dar vida a una historia de la creación de nuevas ideas o del descubrimiento de nuevos hechos; y es que son el origen de la lucha del científico por crear una nueva teoría o hacer un nuevo experimento. Si uno entiende el problema con que se enfrentaba el científico, se puede participar de alguna forma en su proceso de pensamiento, en su intento de solución y en su posible descubrimiento”* (Berkson, 1981).

Una segunda característica de importancia, es la posibilidad de ejecutarla en diferentes momentos del currículo de Física, tanto cuando ya se ha transitado por algunos temas de la Mecánica clásica, como cuando recién se inicia en el estudio de la misma.

Por último, el abordaje del concepto de campo es presentado no solamente atendiendo al planteo de un problema sino recuperando su significado físico por sobre la representación matemática que es la que suele primar en los textos y consecuentemente, en las aulas. Es habitual encontrar en los textos un énfasis en el carácter operatorio de la noción de campo que lo presenta como un vector de una cierta intensidad sin, prácticamente, ninguna alusión a lo que ese vector significa en términos de la teoría de campos.

Actividades

La propuesta estuvo constituida por diecisiete actividades con diferente nivel de generalidad. Hubo actividades de aplicación al desarrollo de un contenido y también actividades de repaso o revisión y de integración de grupos de contenidos que conformaron el bloque temático. En este apartado se comentarán algunas de las actividades de repaso e integración.

La primera parte de la puesta en práctica de la propuesta se organizó en torno a la explicación de la interacción gravitatoria desde el modelo de acción a distancia. Se comenzó presentando la cuestión acerca de ¿por qué se mueven los planetas? Este disparador se acompañó de varias hipótesis alternativas entre las que los estudiantes debían optar argumentando su elección. A ello sigue una serie de actividades en relación con la descripción de la fuerza actuante y los efectos de la misma en el movimiento de los planetas. Entre otras, se propone la lectura del relato acerca del descubrimiento de Neptuno como una consecuencia de la «extensión» de los alcances de la fuerza gravitatoria. A posteriori de esta actividad, se comenta la experiencia de Cavendish para determinar la intensidad de la fuerza actuante entre dos masas.

A modo de «cierre parcial» del tratamiento de la interacción gravitatoria mediada por fuerzas a distancia se propone el siguiente grupo de cuestiones:

Algunas cuestiones relacionadas con la gravitación:

1. La Tierra atrae gravitacionalmente a la Luna. ¿Por qué entonces no chocan ambos cuerpos?
2. Si la gravedad tira de una manzana que está en la copa de un árbol con una fuerza de 1 N. ¿Se reduciría a $\frac{1}{4}$ N la fuerza de gravedad que se ejerce sobre la manzana si el árbol fuese dos veces más alto? ¿Por qué? Explica tu respuesta.
3. ¿Por qué es redonda la Tierra?

4. Ayudándote de alguno de los textos recomendados en el programa de contenidos, comenta en no más de 15 renglones cómo es que la gravedad permite explicar el fenómeno de las mareas.

5. Si las fuerzas gravitatorias que ejerce el Sol sobre los planetas desaparecieran repentinamente. ¿qué tipo de trayectorias describirían éstos? Explícalo.

6. Si te subieras a una escalera tan alta que te llevara a una distancia del centro de la Tierra dos veces mayor que la distancia a la que te encuentras ahora, ¿cómo sería la atracción que provocaría sobre una persona comparado con el valor actual?

7. ¿Qué le sucede a la fuerza de atracción gravitatoria entre dos masas si:

- se duplica la distancia entre ellas?
- se reduce la distancia a la mitad?
- se duplican las dos masas?
- se reducen las dos masas a la mitad?

8. ¿Cuántas fuerzas gravitatorias están actuando ahora mismo sobre tu cuerpo? ¿De qué manera podrías escribir esto haciendo uso de expresiones matemáticas?

9. ¿Puede tener un cuerpo una masa diferente cuando se somete a la acción de fuerzas eléctricas o de fuerzas gravitatorias? Explica tu respuesta.

10. La fuerza gravitatoria es una relación que, a lo mínimo, requiere la presencia de dos masas; justifica la verdad o falsedad de las siguientes expresiones:

- La fuerza es una cuestión de pares de objetos.
- La fuerza puede ser ejercida solamente por seres vivos.
- La fuerza entre la Tierra y la Luna se ejerce sobre cada participante, esto es: se ejerce sobre la Tierra y una fuerza de igual intensidad y dirección (aunque en sentido opuesto ya que tratan de atraerse) se ejerce sobre la Luna.

11. Hallar la fuerza gravitatoria que atrae una persona cuya masa es de 65 Kg hacia otra persona de 50 Kg cuando estén separados a una distancia de 50 cm. ¿Qué reflexión puedes hacer sobre el resultado obtenido?

12. Una señora levanta una aguja con una tijera imantada. Con sorpresa, observa que de la aguja pende un alfiler. Las propiedades magnéticas de la tijera, la aguja y el imán determinan la interacción magnética entre estos objetos. ¿Habría también interacción gravitatoria entre ellos? ¿Por qué?

Las actividades propuestas, algunas de las cuales se comentan más adelante, procuran generar situaciones para poner en juego un conjunto de invariantes operacionales que se han anticipado como los esperados para este campo conceptual.

Para la resolución de la actividad uno, la información que la misma proporciona a quien va a responderlo, es la siguiente: 1) la Luna es atraída por la Tierra y 2) la Luna no choca contra la Tierra.

Para responder a la pregunta los estudiantes podrían poner en juego algunos teoremas en acto como los siguientes:

- La fuerza de gravedad no es una fuerza de impacto o de «choque».
- La fuerza de atracción no hace aumentar la velocidad de la Luna.
- El valor de la velocidad de la Luna debe ser constante.
- La fuerza solamente estará modificando la dirección de la velocidad.

Será la intervención del docente en la discusión la que deberá colaborar para que los estudiantes puedan concluir que la velocidad de la Luna no está aumentando porque si lo hiciera en algún momento impactaría sobre la Tierra.

En la segunda actividad, los estudiantes deben reconocer que la distancia que participa en la ecuación de la fuerza gravitacional es la que media entre los centros de los cuerpos involucrados. Por tanto, un aumento en la altura del árbol no contribuye a modificar la distancia. Será importante retomar esta conclusión cuando se resuelva la actividad seis que vuelve sobre la misma idea.

La actividad 8 tiene la intención de que el estudiante sea capaz de establecer la generalización que implica considerar a varias fuerzas actuando juntas. Se trata del carácter aditivo de las fuerzas gravitatorias ($F = \Sigma f_i$).

La actividad número 9 busca reconsiderar la invariabilidad de la masa cualquiera sea el carácter de la fuerza que está actuando sobre el cuerpo.

Las tres proposiciones que se plantean en la situación diez apuntan a promover la discusión acerca de algunas de las condiciones en que tiene lugar una fuerza gravitatoria. La alternativa c) habrá de considerarse en relación con los temas previos que se hubieran desarrollado. Cabe aquí mismo el esfuerzo, por parte del docente, para generar las condiciones de tal forma que resulte posible arribar a enunciar el carácter recíproco de la fuerza gravitacional: En términos de fuerzas, podríamos escribir que $|F_{AB}| = |F_{BA}|$.⁵

En el segundo momento de la implementación de la propuesta didáctica, la explicación se realiza empleando el modelo de campo de fuerzas. Para la introducción del mismo se recurre a la historia de la ciencia, presentando ahora la cuestión de los distintos enfoques que se proponían los científicos para explicar cómo es que un objeto puede actuar sobre otro. Se recorren las propuestas de Newton, Leibniz, Descartes y finalmente Faraday.

Para ejemplificar el estilo de las actividades que son parte de este segundo momento se selecciona el grupo que sigue. A continuación se comentan consideraciones acerca de algunas de las actividades aquí incluidas.

Algunas cuestiones para revisar el bloque temático:

1. ¿Cómo podemos reconocer que la Tierra ejerce una fuerza sobre todos los cuerpos cercanos a ella?
2. ¿De qué cantidades depende la aceleración de la gravedad en la superficie de un planeta?
3. ¿Cómo se compara la intensidad del campo gravitatorio en la superficie de la Tierra con la aceleración de un cuerpo en caída libre?
4. ¿Qué es más correcto: decir que un cohete lejano interactúa con la masa de la Tierra o con su campo gravitatorio? Explica tu respuesta.
5. ¿Cómo sería el valor de G si la Tierra fuese del mismo tamaño pero su masa aumentara al doble? ¿Y el de g ? Explica tus conclusiones.
6. El peso de una manzana cerca de la superficie de la Tierra es de 1 N. ¿Cuánto pesa la Tierra en el campo gravitacional de la manzana? ¿Por qué?
7. Señala y comenta dos diferencias entre los modelos de acción a distancia y campo de fuerzas.

8. Elabora un mapa de conceptos que te permita recuperar las ideas principales que vinculan a los contenidos trabajados en este bloque temático. Explícalo en no más de diez líneas.

9. Para las situaciones que se enuncian a continuación analiza:

a) ¿qué formas de interacción reconoces?

b) ¿entre qué elementos?

Situación 1: Un imán y un clavo que se le aproxima apoyados sobre la mesa.

Situación 2: Un pie pateando una pelota de fútbol apoyada sobre el césped.

10. ¿Qué significa la expresión $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N$

La primera pregunta presenta la cuestión de que el campo gravitacional de la Tierra afecta a todos los cuerpos cercanos a ella. Dicho de otra manera: la pregunta pone a consideración que la Tierra es un centro de fuerzas para cualquier objeto en sus proximidades retomando la cuestión de la universalidad de la fuerza gravitatoria.

El planteo de la situación número cuatro procura que el alumno sea capaz de reconocer la participación del tiempo en la interacción entre la Tierra y un cohete lejano. Luego, quedará claro que el tiempo no es despreciable (carácter simultáneo versus carácter instantáneo de la acción de un cuerpo sobre otro) y, por tanto, lo más correcto será proponer una explicación en términos del campo gravitacional de la Tierra donde la interacción resulta de un proceso que acontece punto a punto entre la Tierra y el cohete.

La actividad número cinco se centra en el análisis de los significados de G y g . Para el caso de G , hará falta tomar en cuenta que se trata de una constante universal e independiente del valor de las magnitudes que participan de la ecuación de F . El valor de g es característico de cada planeta y, contrariamente a G , varía directamente con la masa del planeta e inversamente con el cuadrado de su radio; en este caso, g aumentará al doble.

Para responder la cuestión seis, hará falta poner en juego:

- 1) el teorema en acto que da por aceptable que el peso de un cuerpo es la fuerza con que la Tierra lo atrae, a la vez que,

⁵ Será esta otra oportunidad para insistir con la manera de representar la fuerza, haciéndolo ahora en todos los objetos que participan de la interacción y por pares.

2) el carácter recíproco de la fuerza entre dos masas (principio de acción y reacción) para llegar a enunciar que la Tierra en el campo gravitacional de la manzana también pesa 1 N.

Para el problema siete, se espera que pueda enunciarse que:

1) en el modelo de acción a distancia el fenómeno acontece al mismo tiempo entre las masas; mientras en el de campo de fuerzas el tiempo no es cero.

2) en el modelo de acción a distancia cada masa tiene asociada una fuerza; en el modelo de campo la fuerza es una propiedad de cada punto del espacio.

Los problemas nueve y diez pretenden poner a consideración el carácter aditivo de las fuerzas y los campos de fuerzas y el hecho de que diferentes formas de interacción pueden estar actuando a la vez. También en el caso del problema nueve será factible la identificación de los diferentes pares de fuerzas intervinientes.

CONCLUSIONES

La evaluación de los alcances de la propuesta didáctica fue realizada de manera continua a lo largo de la implementación ya que el investigador a cargo fue observador de cada una de las clases en que se desarrolló.

La información que posibilitó realizar la mencionada evaluación se obtuvo a partir de:

- materiales escritos producidos por los estudiantes. En ocasiones estos materiales fueron también instrumento de evaluación del docente pero con fines para la acreditación de los aprendizajes de los alumnos.
- transcripciones de los discursos orales sostenidos en cada una de las clases en que se implementa la propuesta.
- entrevistas con el docente. El contenido de las mismas se organizó alrededor de los resultados que el propio docente podía estimar durante el desarrollo de la propuesta.
- notas de campo del investigador a partir de la observación realizada en las clases.

Entre los resultados más importantes se pueden mencionar los siguientes:

- Una evolución, desde la primera clase hasta la última, hacia las formas esperadas en la enunciaci3n y el empleo del *carácter recíproco* ($\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$) de la interacci3n. Esto se pone de manifiesto en expresiones crecientemente descontextualizadas para referirse a la fuerza que actúa sobre dos masas cualesquiera. En las primeras clases la fuerza es asumida como una relaci3n que permite vincular dos masas (que caracterizan a dos objetos identificables). A medida que se avanza en el desarrollo de la propuesta, la relaci3n representada por la fuerza adquiere más especificaciones. Entre otras características, se hace posible asignarle una medida, capacidad de atracci3n y también la extensi3n de estos resultados para dos masas cualesquiera.

Los estudiantes identifican que la fuerza tiene un carácter relacional asignando un vector fuerza de la misma longitud para dos masas diferentes; en ocasiones reconocen que el peso de una masa en el campo gravitatorio de la Tierra es del mismo valor que lo que pesaría la Tierra en el campo gravitatorio de la primera masa.

- El reconocimiento de la presencia de diferentes formas de interacci3n (gravitatoria y magnética, por ejemplo) actuando de manera simultánea (Carácter composicional).
- El empleo del *carácter aditivo* tanto para la fuerza como para la noci3n de campo. En ciertas oportunidades se hace uso de las expresiones matemáticas que representan este carácter para la fuerza y para el campo.
- El reconocimiento de dos modelos alternativos para la explicaci3n de la interacci3n gravitatoria. La caracterizaci3n escrita permite identificar el reconocimiento de la fuente que genera la interacci3n y, a partir de ella, los caracteres y principios que permiten describir cómo se explica la interacci3n en términos de cada uno de los modelos.
- La identificaci3n de las similitudes y diferencias entre la explicaci3n de la acci3n a distancia y el modelo de campo. En el caso de las producciones escritas, suelen acompañar sus explicaciones con representaciones gráficas de cada uno de ellos.
- El empleo de conceptos-en-acto apropiados para el campo conceptual de la interacci3n gravitatoria. Esto es, los conceptos que se identifican como claves son pertinentes a la temática desarrollada.

Según la TCC, cada dominio conceptual puede abordarse por una infinidad de situaciones y es la variedad de las mismas la que colabora en las conceptualizaciones que de ellas pudieran derivarse. Esto pone en evidencia que se hace preciso diseñar otras propuestas didácticas para la interacción gravitatoria, que incluyeran *otras situaciones* diferentes a las que aquí se han discutido. Ello permitiría ampliar la variedad de oportunidades de los estudiantes al momento de dominar progresivamente un campo conceptual. Es de destacar que el aprendizaje no acontece de una vez y para siempre. Por el contrario, se trata de un proceso de largo alcance, paulatino y que demanda de innumerables situaciones que «lo pongan a prueba».

Bibliografía

Baris, A. - Vergnaud, G. Students conceptions in physics and mathematics: biases and helps. Annick Weil in Caverni, J. P., Fabre, J.M. and González M. (Eds.) *Cognitive biases*. North Holland: Elsevier Science Publishers, p. 69-84, 1990.

Berkson, W. *Las teorías de los campos de fuerza*. Alianza Editorial. Madrid, Primera edición, p. 30-34, 1981.

Franchi, A. Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. In Alcântara Machado, S.D. et al. *Educação Matemática: uma introdução*, São Paulo, EDUC, p. 155-195, 1999.

Hewitt, P. *Física conceptual*. Addison Wesley Iberoamericana, E.U.A., p. 168-198, 1995.

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

Stipcich, S y Moreira, M. El tratamiento del concepto de interacción en textos de Polimodal y universitarios. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1 [1], p. 118-131, 2001.

Stipcich, S. y Moreira, M. Las opiniones de los profesores de Física sobre el concepto de interacción en la enseñanza de la Física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2 [2], p. 6-20, 2002.

Stipcich, S. Moreira, M. y Caballero Sahelices, C. El significado del concepto de interacción en Física para alumnos de Polimodal. *Actas del II Encontro internacional Linguagem, Cultura y Cognição. Faculdade de Educação, Universidade de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil, 2003.*

Stipcich, S. Moreira, M. y Caballero Sahelices, C. Una interpretación de las opiniones de ingresantes a la universidad sobre la noción de interacción. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3 [1], 2004.

Vergnaud, G. A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. *Addition and subtraction. A cognitive perspective*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, p. 39-59, 1982.

Vergnaud, G. La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 [23], p. 133-170, 1990.

Vergnaud, G. Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, 26 [10], p. 195-207, 1996.

Vergnaud, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17 [2], p. 167-181, 1998.