

Interacción gravitatoria en geociencias: actividades para su conceptualización

Gravitational interaction in geosciences: activities for its conceptualization

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Consuelo Escudero^{1,2}, Sonia Beatriz González³ y Eduardo Jaime¹

¹Departamento de Física. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan. Av. Lib. San Martín (Oeste) 1109. Capital, San Juan. Argentina.

²Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan. Avda. J. I. de la Roza y Meglioli. Rivadavia. San Juan. Argentina.

³Departamento de Física y de Química. Facultad de Filosofía Humanidades y Artes. Universidad Nacional de San Juan. Avda. J. I. de la Roza 230 Oeste. Capital. San Juan. Argentina.

E-mail: cescudero@unsj-cuim.edu.ar

Resumen

En este trabajo se presenta una propuesta didáctica con cuatro situaciones problemáticas de distinto tenor en su carácter integrativo donde se pretende poner en juego y desarrollar competencias y capacidades en grupos de estudiantes utilizando como marcos teóricos las teorías de David Ausubel y Gerard Vergnaud. Se trabajó en aulas del 2do semestre de carreras científicas en un curso de Física General. Se ha abordado la temática gravitatoria cubriendo su modelado desde distintos sistemas de representación. Objetos de conocimiento aparentemente iguales desde el exterior al modelar su comportamiento interior se manifiestan muy diferentes respecto a sus interacciones (fuerza, campo, energía potencial, potencial gravitatorio). Cuando se planifica un cambio didáctico el compromiso del equipo docente aumenta y sus capacidades progresan dinámicamente.

Palabras clave: Gravitación; Modelado; Actividades; Enseñanza; Interacción.

Abstract

This paper presents a didactic proposal with four problematic situations of different tenor in its integrative nature where it is intended to put into play and develop competencies and abilities in groups of students using the theories of David Ausubel and Gerard Vergnaud as theoretical frameworks. We worked in classrooms of the 2nd semester of scientific careers in a General Physics course. The gravitational theme has been covered, covering its modeling from different systems of representation. Apparently identical objects of knowledge from the outside when modeling their inner behavior are very different from their interactions (force, field, potential energy, gravitational potential). When a didactic change is planned, the commitment of the teaching team increases and their capacities progress dynamically.

Keywords: Gravitation; Modeling; Activities; Teaching; Interaction.

I. INTRODUCCIÓN

Abordar el aprendizaje de contenidos específicos en distintos niveles del sistema educativo es una tarea que sigue pendiente. Si bien, la cantidad de producciones en el área se ha incrementado, todavía son pocos los trabajos que tratan la especificidad más ampliamente. Asimismo, realizar una pertinente selección de contenidos para su despliegue en un espacio curricular, así como elaborar actividades y secuencias de enseñanza con miras a colaborar en la conceptualización, son algunas de las competencias más apreciadas para una buena gestión en el aula.

Por otra parte, son importantes los desafíos en carreras científicas frente al abandono de la formación profesional en las universidades donde se interrelacionan fuertemente educación en ciencias básicas y formación docente universitaria, entre otros aspectos.

En comparación con las formas de pensamiento desarrolladas por los expertos en las disciplinas específicas, los procesos de pensamiento de los individuos suelen parecer deficientes. En consecuencia, se caracterizan por sus vacíos y carencias. Esta visión equivale a concebir al individuo como incompleto, imperfecto o deficiente en comparación con los expertos. En nuestra perspectiva, esta estructura es inadecuada para abordar los problemas del desarrollo y el aprendizaje cognitivos que aquí nos conciernen. Al igual que lo hiciera originalmente Piaget, sería más fructífero considerar al individuo como un sistema dinámico dotado de mecanismos regulatorios capaces de garantizar su progreso.

Esta es la estructura mental que utilizaremos al estudiar las concepciones, en un intento de (a) señalar las dificultades y discontinuidades en el pensamiento que los individuos enfrentan al abordar las concepciones desarrolladas en esta área, con vínculos estrechos entre matemática y física, y (b) realizar aportes sobre hasta qué punto las concepciones previas pueden emplearse para generar nuevas concepciones.

Recordemos que el término “concepción” fue acuñado durante la tendencia de investigación cuyo objetivo era describir los “conceptos significados” (propiedades, invariantes relacionales, invariantes operatorias) y los “significantes” que los individuos son capaces de activar (o evocar) cuando abordan un dominio de conocimiento. Por ej., ¿Qué ideas tienen sobre los fenómenos gravitacionales? ¿Qué herramientas de representación utilizan? ¿Cómo comprenden la relación entre interacción y energía? ¿Qué conocimientos y modelos tienen sobre los sistemas físicos y sus interacciones?, ¿Qué nociones y modelos tienen sobre entidades físicas como fuerza gravitacional, energía, campo y potencial gravitacional?

Esta línea de investigación nos permite definir invariantes cognitivas, de las cuales los sujetos pueden ser conscientes o no. Las afirmaciones de un sujeto, es decir, todo lo que este es capaz de explicar, son, de hecho, insuficientes para comprender el conocimiento que posee.

Puede considerarse que las concepciones de los estudiantes constituyen un sesgo si llevan a estos a dar respuestas sistemáticas que difieren de las esperadas. Se manifiestan en ciertos patrones que presentan los tipos de respuestas dadas para ciertas clases de problemas.

La mayoría de los términos utilizados en física para referirse a entidades físicas ya pertenecen al vocabulario habitual de los estudiantes. Por consiguiente, en la vida cotidiana “fuerza” y “calor” –por ejemplo– se refieren a características de los objetos, en tanto que, en física, son entidades que describen interacciones entre sistemas (A y B, por ejemplo). Así, muchos “errores” observados con frecuencia se originan en el hecho de que el significado que los estudiantes atribuyen a las palabras que emplean en física es el mismo significado al que les atribuyen en la vida cotidiana. Si en este caso existe un sesgo cognitivo, éste es ocasionado por un proceso de pensamiento extremadamente general que consiste en conservar los lazos asociativos que corresponden a un elemento dado que se percibe como invariante.

En los primeros estadios acerca del modelado sobre el planeta Tierra se suele tomar este objeto como de dimensiones infinitas (inmensurable), esto conlleva a que cuando se pidan respuestas a cuestiones donde participa la Tierra –explícita o implícitamente– se la trate como un objeto con dimensiones establecidas (mensurable).

La investigación que viene desarrollándose muestra resultados, al menos alentadores, en relación a las posibilidades de integración de contenidos en ideas más generales e inclusivas, buscando que los elementos no permanezcan aislados, sino ubicados en estructuras más abarcadoras (Stüpcich, 2004; Llancaqueo, 2006; Falsetti y Coelho da Silva, 2018; entre otros).

La conceptualización de la *interacción gravitatoria* –en sus modos: fuerzas, campos, energía y potencial– subyace a los fundamentos de las posibilidades de dar respuesta a cuestiones como las siguientes que sitúan a nuestra propuesta didáctica: ¿Varía la aceleración de la gravedad en el interior de la Tierra? ¿Y en la superficie? ¿En el exterior? ¿Cómo? ¿Se puede medir?

La Tierra es un planeta del Sistema Solar que se formó hace unos 4.500 millones de años. Su estructura actual es el resultado de la continua evolución que ha experimentado desde su formación. El centro de la Tierra está aproximadamente a 6370 km de nuestro asiento. El agujero más profundo jamás taladrado hasta ahora sólo ha llegado a unos pocos km por debajo de la superficie terrestre. El estudio de su estructura interna y composición se basa en métodos de observación indirecta, ya que la directa sólo alcanza las zonas más superficiales. La información a obtener ha de deducirse fundamentalmente a partir de las ondas sísmicas, por ser el método más potente y de mayor capacidad de penetración. Sin embargo, existen otros métodos que permiten complementar la información, como gravimetría y magnetismo.

Las proyecciones pedagógicas y la integración al mundo de la enseñanza han resultado bastante complejas dadas las variables, múltiples y diversas, que entran en juego. La noción de Tierra hunde sus raíces en la cinemática y la dinámica de la partícula y avanza incluyendo teoremas de conservación de la energía, ímpetu lineal y angular.

Avalamos que la forma problemática de abordar las situaciones–fundamentada en la participación activa y en la reflexión de los individuos– es más efectiva que un abordaje de carácter *transmisivo*, donde el profesor se entiende como transmisor de información y el estudiante como *memorizador* de simples acla-

raciones del profesor, por ej., de que los estudiantes no deben confundir el producto de las masas con la suma de las masas (como prescripción).

Nuestro objetivo en este trabajo es el diseño y el mejoramiento de propuestas instruccional es a nivel universitario básico, tendientes a un aprendizaje significativo crítico, sin perder de vista que la construcción de significado parte y avanza muchas veces desde nociones aisladas que comienzan a integrarse en estructuras más abarcadoras.

II. MARCO TEÓRICO

Todos sabemos que la Tierra es redonda. Pero, ¿por qué es redonda? Es por la gravitación. Todo atrae a todo lo demás, y la Tierra se ha atraído a sí misma ¡todo lo posible! Han sido atraídos todos los “vértices” de la Tierra y en consecuencia todas las partes de su superficie son equidistantes al centro de gravedad. Eso es lo que forma una esfera. Los efectos de la rotación la(los) hace(n) un poco elíptica(os).

A la luz de la brecha considerable que existe entre las invariantes que los sujetos probablemente construyan en sus interacciones con el entorno y las invariantes que constituyen el conocimiento sobre física y matemática, la existencia de sesgos cognitivos generados por la implementación de invariantes definidas previamente no es sorpresiva. Nos resulta particularmente interesante investigar más acerca de tales invariantes, especialmente si estas resisten la intervención educativa, puesto que dicho conocimiento nos permitirá determinar con mayor exactitud los obstáculos cognitivos que los sujetos deben superar. (Weil-Barais y Vergnaud, 1990)

La fuerza gravitacional también es objeto de concepciones alternativas. Entre esas concepciones podemos mencionar que la gravedad solo existe cuando hay aire; sólo objetos pesados poseen gravedad; la temperatura afecta la gravedad; la fuerza gravitacional aumenta conforme aumenta la distancia al objeto; la gravedad de un planeta está relacionada a su campo magnético; en la interacción de dos cuerpos, sólo el más pesado ejerce fuerza gravitacional sobre el otro; la cantidad total de masa de un sistema con dos cuerpos define el valor de la intensidad de la fuerza gravitatoria (Bar, 1989; Osborne y Gilbert, 1980; Philips, 1991; Piburn y otros, 1988; Galili y Bar, 1997; Falsetti y Coelho da Silva, 2018).

La literatura especializada ha señalado que la imagen que adquiere el alumno de la noción de campo está lejos de la concepción científica, pensándolo en términos de fuerza, o bien confundiendo el campo con sus efectos, considerando a éste como una zona en la que existe gravedad, o por la cual circula una corriente eléctrica, o que está magnetizada (Viennot y Rainson 1992, 1999; Greca y Moreira 1997; Sneider y Ohadi 1998). No se ha abordado en este trabajo el concepto relativista de gravitación dado que trasciende los límites de la visión de interacción.

Una pregunta de fondo como docentes-investigadores, más allá del enfoque se parece a la siguiente: ¿De qué manera enseñar tópicos de actualidad que hunden sus raíces en la gravitación aplicada?

Una alternativa podría ser a partir de la descripción de un contexto en el sentido que se propone en la teoría de los campos conceptuales, donde cada concepto ocupa un lugar de acuerdo al sentido que se construye entre la persona y los objetos en situación. “*Un campo conceptual es el resultado de la elaboración pragmática de un conjunto de situaciones*” (Vergnaud, 1993).

La teoría del aprendizaje significativo tal como fue propuesta por David Ausubel en la década de 1970 puede ser, hoy, considerada como la visión clásica de ese aprendizaje. Ella se basa en la proposición de que la adquisición y la retención de conocimientos son el producto de un proceso activo integrador e interactivo entre el material de instrucción y las ideas pertinentes en la estructura del estudiante con la que las nuevas ideas se pueden enlazar. La naturaleza del aprendizaje significativo es, en parte, responsable de un almacenamiento de información fuertemente organizado en la mente, una especie de jerarquía conceptual. Este constructo conlleva a una dinámica cognitiva que se explica a través de procesos como asimilación, diferenciación progresiva, reconciliación integradora y obliteración (Ausubel, 2002).

La perspectiva interaccionista social del aprendizaje significativo es un abordaje triádico (alumno ↔ profesor ↔ materiales educativos del currículo) de Bob Gowin (1981) y Novak y Gowin (1996). Se trata de una visión básicamente vygotskyana, en la cual los procesos de aprendizaje y enseñanza se ven como una negociación de significados, cuyo objetivo es compartir significados respecto de los materiales educativos del currículo. Cabe al profesor presentar, de las más diversas maneras y varias veces si fuese necesario, esos significados y buscar evidencias de si el alumno los está captando. Al alumno le compete verificar si los significados que está captando son aquellos aceptados en la comunidad de usuarios.

M. A. Moreira, de un tiempo a esta parte, defiende una visión crítica para el aprendizaje significativo, una perspectiva en la cual no basta captar significados aceptados en el contexto de la materia de enseñanza, es necesario captarlos críticamente. Esa visión tiene en cuenta la progresividad del aprendizaje signifi-

cativo, la incertidumbre del conocimiento, el lenguaje como conocimiento, la diversidad de materiales y estrategias instruccionales, la importancia de la discusión y del aprendizaje desde el error.

Moreira (2014) especula que el discurso educativo destaca la importancia de una enseñanza centrada en el alumno, del aprender a aprender y del aprendizaje significativo. Sin embargo, la enseñanza de la física en la educación contemporánea: está centrada en el docente (no en el alumno); sigue el modelo de la narrativa; es monológica (no dialógica); es conductista; es del tipo “bancario” (intenta depositar conocimientos en la cabeza del alumno); no incentiva el aprendizaje significativo; no busca un aprendizaje significativo crítico, entrena para el examen, enseña respuestas correctas sin interrogante, etc.

En la actualidad el enfoque conocido como *competencias* constituye una perspectiva en educación en debate. Siguiendo a Coronado (2013), competencia es un conjunto integrado y dinámico de saberes, habilidades, capacidades y destrezas, actitudes y valores puestos en juego en la toma de decisiones, en la acción –en el desempeño concreto– del sujeto en un determinado espacio.

Mientras que se entiende por capacidades a aquellas disposiciones, actitudes, aptitudes a ser desarrolladas por las personas a fin de contribuir con las competencias. Algunas capacidades vinculadas con las ciencias buscan el desarrollo del pensamiento lógico; de esquemas de pensamiento de mayor poder explicativo que los habituales; de estrategias y técnicas para la resolución de problemas científicos, más rigurosas y sistemáticas que las empleadas para resolver situaciones cotidianas (Nieda y otros, 2004).

En particular, algunas capacidades que pueden desarrollarse a través de la resolución de situaciones problemáticas son la conceptualización, lectura interpretativa, representación, modelización, creatividad, argumentación (Escudero y González, 2017).

III. PROPUESTA DIDÁCTICA

Sugerimos a continuación una secuencia de actividades que puede usarse para estructurar una proposición didáctica que está dirigida a alumnos del ciclo básico de carreras como Geología, Geofísica, Física. Sus propósitos generales son:

- Aportar elementos teóricos y metodológicos que contribuyan con la conceptualización de la noción de campo en el sentido de constituir una teoría de gran capacidad explicativa.
- Promover en los futuros profesionales la necesidad de profundizar en conocimientos estructurantes de la física, que fortalezcan sus competencias como profesional.

Mientras los objetivos específicos que la misma aspira desarrollar son:

- Contribuir a la integración y diferenciación de los dos modelos físicos, acción a distancia y campo, para la construcción del concepto de *interacción gravitatoria*.
- Permitir el análisis de ventajas comparativas de ambos puntos de vista al abordar diferentes situaciones problemáticas.
- Trascender el modelo de Tierra como esfera, homogénea y no rotatoria, paso necesario para introducirse en cursos superiores de la especialidad.
- Incorporar modos alternativos de analizar la gravitación, desde la fuerza y la energía potencial al campo y al potencial para describir la dinámica de un sistema.
- Contribuir con la construcción de la *cuantitatividad* enriquecida con la perspectiva cualitativa.

No se puede soslayar el criterio psicopedagógico, el perfil del alumno ingresante a la universidad responde a las características generales señaladas en diversos estudios, razón por la cual es necesario trabajar sobre las competencias formuladas para el alumno del ciclo básico (Escudero y González, 2017).

Los conocimientos previos que suponemos en los destinatarios de la propuesta son: suma algebraica, producto algebraico y sus propiedades; magnitudes vectoriales, masa, fuerza, movimiento, mínimamente. Antes del desarrollo de la unidad de Gravitación, los alumnos deberían tener conocimientos básicos de: Cinemática y dinámica de la partícula y del cuerpo rígido. Es importante advertir durante la implementación si se atienen a un solo modelo teórico para resolver o son capaces de emplear más de uno, si utilizan la variación como comparación¹.

La propuesta, en general, busca la posibilidad de componer principalmente los vínculos de la resolución de problemas con el aprendizaje de conceptos y las relaciones implícitas con la significación en su

¹ El carácter relativo de magnitudes y propiedades es básico en la estructuración del conocimiento físico de cómo funciona el mundo (Escudero, Jaime y González 2014, 2017).

sentido más amplio. Tanto las actividades que configuran la propuesta didáctica como una discriminación de los objetivos que se propone con cada actividad se consignan a continuación.

Es necesario hacer hincapié en que, para realmente valorar el entendimiento conceptual de los estudiantes, es importante realizar evaluaciones cualitativas con preguntas abiertas donde el estudiante escriba su razonamiento. Esto no se debe soslayar; sin embargo, además de exámenes cualitativos de preguntas abiertas, los exámenes con opciones múltiples son muy valorados en el área de la educación de la física, ya que también son útiles para evaluar el aprendizaje conceptual de poblaciones grandes de estudiantes y la eficacia de la instrucción (Redish, 1999; Guisasola y otros., 2012).

A. Actividades planteadas

Las actividades previstas para desarrollar con los estudiantes se han elaborado partiendo de asumir unos ciertos ideales: modelos, supuestos de construcción del conocimiento. Dichos ideales se han construido sobre la base de la lógica disciplinar, la distancia que media entre esta y los conocimientos previos de los estudiantes y aquello que se conoce que los estudiantes podrían desarrollar:

- Organizados en grupos, los estudiantes propongan posibles formas de resolver y argumentar, justificar las decisiones tomadas al resolver las situaciones problemáticas. Ellas involucran: explicitación de las “escurridizas” condiciones de contorno, contrastación de modelos, entre otras.
- Socialización de las justificaciones pensadas en los grupos al aula en su totalidad.
- Discusión de las justificaciones aportadas por los estudiantes y cierre con participación del equipo de trabajo, repesando la matriz de evaluación.

El proceso de construcción de los conocimientos se asume mediado por situaciones problemáticas que colaboran con el estudiante durante la evolución que él puede desarrollar en la construcción conceptual sobre el tema interacción gravitatoria.

Hay aspectos esenciales sobre los que ha sido preciso tomar decisiones: de qué manera se entienden los conocimientos disciplinares, cómo se concibe el modo en que los estudiantes aprenden y cómo se concibe la interacción con las situaciones problemáticas. Por eso es posible intentar aproximaciones hacia su significación desde diferentes puntos de vista:

- 1)
 - a) ¿Dónde es mayor tu peso: ¿en la superficie de la Tierra, a gran profundidad bajo la superficie o por encima de la superficie? Dar razones.
 - b) ¿Será menor tu peso a gran profundidad bajo la superficie de la Tierra? Dar razones.
 - c) ¿Cómo será el valor del campo gravitacional en el centro de la Tierra?
- 2)
 - a) ¿Cuál sería el valor de G si la Tierra fuese del mismo tamaño, pero su masa fuese el doble? ¿Cuál sería el valor de g ? Justificar.
 - b) Estime la gravedad en el interior de la Tierra bajo la hipótesis de Tierra esférica de un radio de 6371 km con densidad uniforme igual a $5,51 \text{ g/cm}^3$.
 - i) ¿Habría discrepancias con los actuales datos experimentales? Investigar y explicar.
 - ii) Completar el ejemplo determinando la gravedad en puntos exteriores.
 - iii) Sucede que hay un aumento de peso hasta en los tiros mineros más profundos. ¿Qué nos dice esto acerca de los cambios de densidad en la Tierra, en función de la profundidad?
- 3)
 - a) ¿Podrá ser que el potencial gravitatorio creado por una esfera de 1000 kg de masa y 1 m de radio en un punto situado a 10 m de su centro sea de $6,67 \times 10^{-8} \text{ J/kg}$? Explique por qué.
 - b) ¿Cuál es la energía potencial de una masa de 2 kg situada en ese punto?
 - c) Si de alguna manera pudieras hacer un túnel en el interior de la Tierra, ¿aumentaría o disminuiría tu peso? Si en lugar de eso estuvieras de pie en la superficie de la Tierra que se contrae, ¿aumentaría o disminuiría tu peso? ¿Por qué tus respuestas son diferentes?
- 4)
 - a) Explique la variación del campo gravitatorio y del potencial gravitatorio si la Tierra tuviese (i) un casquete esférico y si fuese (ii) una esfera maciza. Utilice al menos dos sistemas de representación.
 - b) Si se la considerase como un sistema aislado: ¿cuánto dura el día y cuánto el año en cada caso?

B. Objetivos de cada una de las actividades

En la actividad uno se problematiza un concepto totalmente naturalizado en la vida cotidiana como es el de peso. El hecho de jugar con los distintos valores que puede tomar el propio peso, abre un camino de desestructuración de las posibilidades que presenta este campo de conocimiento. Cuando el campo varía de manera no lineal una primera aproximación sería asumir una variación lineal para su entorno. La tasa de variación del campo gravitatorio (o del peso) –por ejemplo– en las cercanías de la superficie terrestre es la mitad en profundidad que en altura. Es más, inclusive permitirse realizar experimentos mentales que obliguen a plantear hipótesis, pensar condiciones de contorno y formular posibles respuestas.

La situación dos brinda la oportunidad de explicitar relaciones de proporcionalidad con apariencia sencilla, pero que exigen una clara discriminación de los factores que tienen que ver con la aceleración de la gravedad de aquellos que no tienen relación alguna. También permite diferenciar el significado de la constante G (constante de gravitación universal) de g (aceleración de la gravedad o campo Γ). En este problema, además de emplear un modelo de esfera para la Tierra, se pone en juego un concepto de gran interés para el geólogo: la densidad. La aproximación a ésta noción siempre es compleja dado que resulta de poner en relación magnitudes diferentes para “crear” otra que es el resultado de una operación exclusivamente formal. En la figura 1 se puede apreciar que el modelado propuesto conlleva a un pensamiento lineal, aunque no sea así en la naturaleza propia del cuerpo cósmico. La idea es que en el exterior de la esfera se independiza la dimensión de cuerpo.

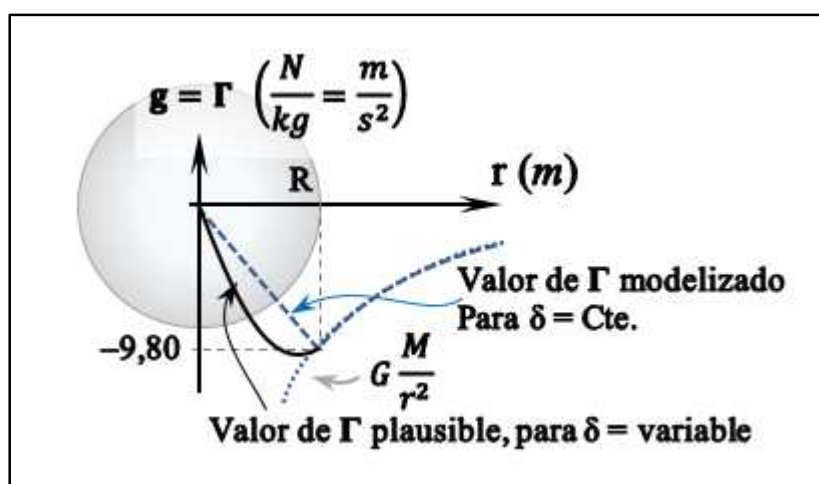


FIGURA 1. Aceleración de la gravedad o campo gravitatorio en función de la distancia al centro para una esfera sólida.

El tercer enunciado permite comprobar si se cumple la afirmación dando razones de ello. También posibilita la discusión sobre su pertinencia y justificación buscando trascender el mero cálculo; además de promover relaciones más explícitas entre potencial gravitatorio ϕ , energía potencial gravitatoria, campo gravitatorio y fuerza gravitatoria, entre otras. Si se ha conceptualizado correctamente el modelo de campo da la posibilidad de abordar la situación mediante el empleo de otros modelos (densidad constante y variable) que dan cuenta del tipo de estructura con que se construye una ciencia.

Con la cuarta actividad se pretende que el estudiante ponga en juego estrategias de modelado respecto del planeta analizando este modelo bajo los tres principios de conservación. Se propone imaginar un casquete esférico en el interior de la Tierra que no tendría gravedad porque se anularía en todas direcciones. Si la Tierra fuese una esfera sólida el valor del campo Γ dependería de la ubicación de ese punto interior. Se plantean diversas variaciones que pueden ser respondidas sin dificultad si se ha conceptualizado el modelo de campo. Además, la representación externa mediante el uso de gráficos y su contrastación (ver gráfico inferior) permite inferir relaciones no visibles y plantear situaciones hipotéticas, imposibles desde el punto de vista empírico, pero totalmente plausibles desde la predicción. Contribuye con el manejo de los límites que deben tener en cuenta al pensar un fenómeno. La comparación además permite develar, y por tanto ahondar, en la significación de contenidos básicos como energía y trabajo, y sus relaciones.

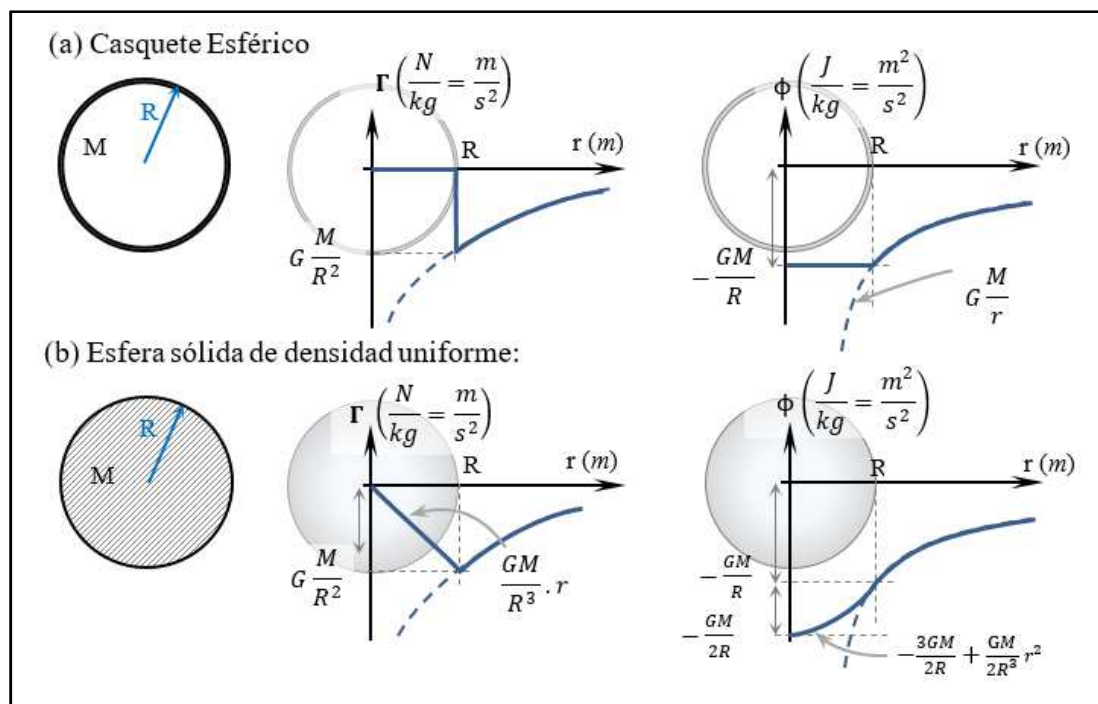


FIGURA 2. Campo gravitatorio y potencial gravitatorio en función de la distancia al centro de la esfera para (a) cascaron esférico (b) esfera sólida.

Una posible interpretación práctica del concepto de potencial gravitatorio ϕ sería: si en la Luna (o en Marte) y en la Tierra –por ejemplo– tengo el mismo potencial gravitatorio entonces una partícula de masa m en la Luna tendría que desplazarse seis veces en altura (en Marte tendría que desplazarse 2,6 veces más) que en la Tierra para realizar el mismo trabajo o cambio de energía potencial por unidad de masa. Debido a que el campo gravitatorio lunar y marciano ha disminuido en esos factores, respectivamente.

Si $\phi(r)$ es constante como en el casquete esférico la ciencia pauta que no se podría aprovechar energéticamente; mientras que sí se aprovecharía si éste varía. Se está evaluando la posibilidad de hacer viajes a Marte en busca de un hábitat extraterrestre. La ventaja en este caso sería pensar el potencial gravitatorio $\phi = g \cdot \Delta h$ como un invariante respecto del campo de fuerzas y del desplazamiento.

IV. A MODO DE CONCLUSIÓN E IMPLICACIONES

Algunos de los inconvenientes que suelen manifestar los alumnos tienen que ver con el escaso o nulo empleo de modelos para tratar de resolver situaciones problemáticas. Es decir, no se encuentra presente el hábito de plantear relaciones que solo se puedan visualizar desde algún sistema de representación. Por lo tanto, todas aquellas cuestiones que tengan que ver con cambios en los sistemas de referencia se verán obstaculizados por las dificultades que acarrea la descentración. Será en esas circunstancias que deba intervenir el docente para ayudar a construir esta nueva manera de observar los hechos. Asociada a la misma causa se encuentra la escasa iniciativa por pensar que un experimento mental no tiene por qué ajustarse a las condiciones de contorno de un fenómeno de tipo concreto. También el docente deberá replantear las situaciones que presenta en la ejercitación para pensar en ejemplos teóricos que tengan un sólido sustento lógico.

Para la concepción de interacción gravitatoria el individuo necesita poner en juego al menos dos estructuras que se combinan: estructuras aditivas y multiplicativas. Para que el campo sea generado es válido el principio de superposición (estructura aditiva); mientras que en la interacción de éste con el objeto en estudio es necesario contar con estructuras multiplicativas. Según cuán consolidadas sean éstas estructuras será el potencial de las capacidades individuales y colectivas logradas.

Otro de los aspectos que se pone en cuestión es el concepto de linealidad y las limitaciones de los cálculos proporcionales.

Complementariamente se buscará orientar la resolución de modo de ir logrando un desapego a la consabida autoridad de la fórmula, paso necesario para introducirse en una genuina resolución de situaciones problemáticas nuevas. El aspecto en el que se ha profundizado es en el referido a las decisiones a tomar en el ámbito de esta disciplina y que trascienda lo textual.

El recurrente uso de modelos y gráficos es fundamental para generar la base de conocimientos con que el alumno debe contar. Aquí también es muy importante el seguimiento y apoyo del profesor. Una perspectiva que puede resultar útil, es la que contempla la posibilidad de desarrollar el análisis inferencial abordando el mismo contenido desde diferentes puntos de vista: texto, gráficas, experiencias de laboratorio, simulaciones, etc.; proponiéndose un uso extensivo y sistemático.

La implementación de la propuesta se ha desarrollado con algunos estudiantes de geología en distintos ámbitos (clases teórica, práctica, de consulta). Los resultados obtenidos en esas oportunidades evidencian la plausibilidad de las actividades. No contamos con resultados de su implementación.

AGRADECIMIENTOS

A CICITCA (UNSJ, Argentina) por el financiamiento parcial.

REFERENCIAS

- Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Barcelona: Paidós.
- Bar, V. (1989). Introducing mechanics at the elementary school. *Physics Education*, 24(6), 348–352.
- Coronado, M. (2013). *Competencias docentes. Ampliación, enriquecimiento y consolidación de la práctica profesional*. Bs. As: Noveduc.
- Escudero, C., Jaime, E. y González, S. (2014). Un estudio sobre ideas variacionales a través de la resolución de problemas. El caso de la intensidad sonora. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26(Extra), 109-119.
- Escudero, C., Jaime, E. y González, S. (2017). Un estudio sobre situaciones problemáticas como herramientas de aprendizaje significativo en física. *Revista FCEFYN, UNC*. 4(2), 83-94.
- Escudero, C. y González, S. B. (2017). Aprendizaje significativo y situaciones problemáticas: una alianza fundamental para construir conceptos. *Octavo Encuentro Internacional de Aprendizaje Significativo*, Esquel, dic. (En prensa)
- Falsetti, P. y Coelho da Silva, A. (2018). Atividades para abordar a força gravitacional newtoniana no ensino superior de física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 30(1), 75–82.
- Galili, I. y Bar, V. (1997). Children's operational knowledge about weight. *International Journal of Science Education*, 19(3), 317-340.
- Guisasola, J., Garmendia, M., Montero, A. y Barragués, J. I. (2012). Una propuesta de utilización de los resultados de la investigación didáctica en la enseñanza de la física. *Enseñanza de las ciencias*, 30(1), 61-72.
- Gowin, D. B. (1981). *Educating*. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press.
- Greca, I. y Moreira, M.A. (1997). The kinds of mental representations –models, propositions and images, used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19(6), 711-724.
- Llancaqueo (2006). El aprendizaje del concepto de campo en física: conceptualización, progresividad y dominio. Tesis doctoral. Universidad de Burgos.
- Moreira, M. A. (2014). Enseñanza de la física: aprendizaje significativo, aprendizaje mecánico y criticidad. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26(1), 45-52.
- Nieda, J., Cañas, A. y Martín, M. (2004). *Actividades para evaluar ciencias en secundaria*. Madrid: A. Machado Libros.

- Novak, J.D. y Gowin, D.B. (1996). *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Martínez Roca.
- Osborne, R. J., y Gilbert, J. K. (1980). A method for investigated concept understanding in science. *European Journal of Science Education*, 2(3), 311–321.
- Philips, W. C. (1991). Earth science misconceptions. *Science Teaching*, 58(2), 21-23.
- Piburn, M. D., Baker, D. R. y Treagust, D. F. (1988). Misconceptions about gravity held by college students. *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*.
- Redish, E. (1999). Teaching Physics: Figuring Out What Works. *Physics Today*, 52(1),24-30.
- Snieder, C. I. y Ohadi, M. (1998). Un traveling Student's Misconceptions about the Earth's Shape and Gravity. *Science Education*, 82(2), 265-284.
- Stipcich, S.(2004). Significados del concepto de interacción gravitatoria en estudiantes de nivel polimodal y puesta en práctica de una propuesta didáctica respecto a dicho concepto. Tesis doctoral. Universidad de Burgos.
- Viennot, L. y Rainson, S. (1992). Students' reasoning about the superposition of electric fields. *International Journal of Science Education*, 14(4),475-487.
- Viennot, L. y Rainson, S. (1999). Design and evaluation of a research-based teaching sequence: the superposition of electric field. *International Journal of Science Education*, 21(1),1-16.
- Vergnaud, G. (1993). Teoria dos campos conceituais. *Anais do 1º Seminario Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*, 1-26.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(23), 133-170.
- Weil-Barais, A. y Vergnaud, G. (1990). Student's conceptions in Physics and mathematics: Biases and helps. En Caverni, J. P., Fabre, J. M. y González, M. (Eds.). *Cognitive Biases*. North Holland: Elsevier Science Publishers,69-84.