

El ‘qué hacer’ docente en clases universitarias de Física. Una perspectiva semiótico-comunicativa-multimodal de la construcción del conocimiento

Thamara Fagúndez¹, Naykiavick Rangel¹, Marina Castells²

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo-Venezuela.

² Facultad de Formación del Profesorado. Universidad de Barcelona. España.
tfagundez@uc.edu.ve, marina.castells@ub.edu, nrangel@uc.edu.ve

Se presenta una investigación sobre el ‘qué hacer’ de profesores experimentados de física a partir del estudio y caracterización de sus explicaciones. El contexto es la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Venezuela. El acercamiento metodológico es cualitativo. Es un estudio descriptivo e interpretativo de casos. Seleccionamos como referente teórico el aportado por Ogborn, Kress, Martins y McGillicuddy e incorporamos contribuciones de la investigación sobre la multimodalidad en la enseñanza de las ciencias. A partir de este marco se elabora una propuesta analítica y metodológica que integra recursos, aspectos comunicativos y de construcción de significados científicos utilizados por los profesores. Finalmente, se discuten implicaciones para la formación de profesores.

Palabras clave: análisis del discurso, didáctica de la física, multimodalidad, semiótica.

A research about the work of experienced physics teachers, based on the study and characterization of their explanations, is presented. The School of Engineering of the University of Carabobo, Venezuela is the context. It is The methodological approach is qualitative. This is a descriptive and interpretative case study. The selected theoretical framework is provided by Ogborn, Kress, Martins & McGillicuddy. Also we incorporate contributions from research on multimodality in science teaching. An analytical and methodological proposal that integrates resources and communication aspects of building scientific meanings used by teachers is developed. Implications for teacher education are discussed.

Keywords: discourse analysis, teaching physics, multimodality, semiotics.

Introducción

Un aspecto característico de la práctica profesional del ingeniero es su capacidad para resolver situaciones problemáticas. Para eso requiere de una plataforma conceptual, un juicio apropiado, sentido común y ético, y el saber cómo sus conocimientos y ‘saberes’ deben ser usados para reducir el problema real a uno de tal forma que el ‘conocimiento científico’ pueda ser aplicado para solucionarlo. Por otra parte, el campo laboral actual del ingeniero es dinámico, de carácter cambiante, sobre todo como resultado de los avances científicos y tecnológicos, por lo que su preparación debe proporcionarle

herramientas para adecuarse a tales cambios y continuar aprendiendo a lo largo de su desempeño profesional.

Teniendo en cuenta este ‘perfil’ del ingeniero, al profesor de física de una facultad de ingeniería se le presenta el desafío de integrar la enseñanza de contenidos disciplinares con el desarrollo de capacidades necesarias para su futura profesión.

Por otra parte, la actuación del profesor en clase (el cómo lo hace), depende básicamente del conocimiento profesional de cada uno (Carter, 1990). Una componente

destacada de tal conocimiento es la parte que se ha llamado ‘conocimiento didáctico del contenido’ (Shulman, 1986, 1987; Wilson, Shulman & Richert, 1987). Este conocimiento tiene que ver con las formas ‘cómo’ los profesores transforman sus conocimientos disciplinares en formas didácticamente enseñables a los alumnos (Shulman, 1987). Una fuente de conocimiento acerca de ‘cómo’ los profesores llevan a cabo esta transformación es su ‘hacer’ en el aula. Y parte importante de este ‘hacer’ son las explicaciones que éstos desarrollan durante las clases.

Sabiendo que el conocimiento didáctico de contenido de los profesores se encuentra muy ligado al ‘contexto’, a la experiencia y que se desarrolla como consecuencia de su relación activa con la práctica, pensamos que será de interés desarrollar una investigación con la finalidad de indagar el ‘qué hacer’ de varios profesores experimentados a partir del estudio de sus explicaciones en clases de física. Nuestro acercamiento a las explicaciones parte de la consideración de la enseñanza de la física en una clase como un proceso socialmente compartido por los miembros participantes y que incluye la reelaboración de unos significados científicos que han de resultar convincentes a la comunidad. En este contexto, la explicación del profesor, une en actos de comunicación el lenguaje oral y escrito, además de diversos recursos como gestos, movimientos corporales, expresiones faciales, ecuaciones matemáticas, imágenes, gráficos, dibujos, las tablas y la elaboración de demostraciones, con el fin de contribuir a que los estudiantes ‘vean’ e interpreten el mundo según los significados científicos que se van construyendo. Desde tal punto de vista, un acercamiento a las explicaciones desde una perspectiva ‘semiótico-comunicativa’ puede aportar elementos de interés para el estudio acerca de cómo los profesores explican y elaboran la construcción de significados

científicos.

Objetivo y contexto de la investigación

Nuestro objetivo es caracterizar las explicaciones elaboradas en clases universitarias por profesores experimentados de física en el contexto de una facultad de ingeniería desde la perspectiva ‘semiótico-comunicativa’ teniendo en cuenta especialmente los aspectos multimodales que se incluyen en estas explicaciones.

La experiencia se realiza en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Venezuela; y se centra en las explicaciones de tres profesoras que imparten la asignatura Física I (mecánica) en el marco de un semestre regular. Los cursos se caracterizan, entre otros aspectos, por la alta matrícula (60 a 90 alumnos por grupo). En dicho escenario, las profesoras desarrollan mayoritariamente su actividad en el aula bajo el formato de una clase magistral (Prégent, 1990; Cros, 2003).

Perspectiva teórica de la investigación

Consideramos que cada clase constituye un discurso único, construido por un docente, el cual utiliza diferentes estrategias o recursos discursivos y multimodales para incrementar o dar credibilidad al contenido científico que pretende que los estudiantes entiendan y reconstruyan para sí. De acuerdo a estas ideas, consideramos que la perspectiva semiótico-comunicativa, expuesta en la obra titulada “Formas de explicar. La enseñanza de las ciencias en secundaria” aportada por Ogborn, Kress, Martins y McGillicuddy (2003), es el referente adecuado para la elaboración de un marco analítico para el estudio de la explicación del profesor en clase de física. Dicha obra centra la atención en el modo cómo explican los profesores de ciencias estudiando el significado semiótico de las

prácticas, los objetos y las actividades de éstos en las clases. Se basa en una investigación llevada a cabo desde una perspectiva de la comunicación en clases de ciencias de secundaria, en particular relacionada con el Análisis crítico del discurso y la Semiótica social (Halliday, 1978; Hodge & Kress, 1989). Según tal referente, se habla de las explicaciones de los profesores de ciencias de acuerdo a tres componentes:

1. Las explicaciones científicas son análogas a 'historias', hay unos protagonistas, las entidades científicas (moléculas, campo eléctrico, fuerzas, etc.), cada uno de los cuales tiene sus propias características y capacidades de acción que son las que hacen que sean lo que son, puedan hacer según qué cosas y hasta que puedan interactuar con otras determinadas entidades, es decir, tienen su propia naturaleza y se relacionan a determinados hechos del mundo material.

2. Las partes principales de un relato de la construcción de significados en la explicación. Según la obra considera, el primer paso en la construcción de significados en toda explicación es 'Crear la necesidad' de esa explicación y sugiere que esto se consigue a través de mostrar una diferencia que ha de ser salvada o resuelta. Habiendo creado una 'diferencia' el profesor ha de construir o presentar los protagonistas de la historia o 'entidades', y para que tengan sentido para los estudiantes, el profesor ha de convencerlos sobre la necesidad y conveniencia de su existencia y ha de caracterizarlas de forma adecuada. El 'cómo hace' el profesor para presentar a sus alumnos un conocimiento científico adaptado a las necesidades de éstos y al contexto en el que se desempeña, requiere que este conocimiento sea 'transformado o reelaborado'. Tal reelaboración implica, una elección de cómo organizar y presentar los contenidos disciplinares. Otro elemento importante del modelo es la 'relación de la explicación

con el mundo material', que para Ogborn tiene mucho de retórica, de ayudar a convencer a los estudiantes a que 'vean la realidad' como los 'modelos científicos' proponen de verla.

3. Estilos y dinámicas explicativas. Como tercer aspecto importante, el marco insiste en la variación y estilos de explicación, y en cómo se dan las dinámicas explicativas a lo largo de diferentes clases de ciencias. Este último aspecto se valora como muy importante porque las explicaciones toman sentido cuando se enlazan unas con otras.

Tal como sus autores afirman en el libro, se trata de un marco descriptivo, no pretende evaluar, sino que ofrece una manera de entender las explicaciones en las clases de ciencias. Algunos investigadores también han aplicado el modelo al análisis de textos de divulgación científica (Turney, 2001; Castells et al., 2005) y según los autores, el modelo ha resultado adecuado para dicho estudio, por lo que parece que podemos considerar que su campo de aplicación puede ser más amplio que el de solo las explicaciones en las clases de ciencias de secundaria. Nosotros en este trabajo mostraremos su aplicabilidad al nivel universitario.

La multimodalidad en los discursos explicativos en ciencias

La explicación en las clases de ciencias ha de verse como multimodal. Cuando se explica ciencias, hay elementos del lenguaje oral y del escrito –por ejemplo, cuando se escribe en la pizarra –, pero también hay elementos del lenguaje gráfico y de los lenguajes formales matemáticos (Lemke, 1998). Se utiliza también un lenguaje gestual y, lo que es más peculiar, se explica actuando sobre el mundo físico, haciendo experiencias con los objetos y seres materiales. Esta característica de explicar "haciendo cosas" con objetos, aparatos, etc. es fundamental y

distintiva de la explicación en las clases de ciencias. Estas consideraciones hace que para la interpretación de lo que pasa en las clases de ciencias se empiece a acudir a nuevas perspectivas teóricas que tienen que ver con los fenómenos comunicativos como la semiótica (Lemke, 1997; Ogborn et al., 2003), la retórica (Martins & Porto, 2001) y la argumentación (Duschl & Ellenbogen, 1999; Driver, Newton & Osborne, 2000; Duschl & Osborne, 2002; Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2008), entre otras.

En el libro de Ogborn y colaboradores (2003) encontramos escasez de incorporación de descriptores específicos para analizar y caracterizar los aspectos multimodales de las explicaciones presentes en las clases de ciencias, a pesar que se comenta repetidamente sobre la multimodalidad del discurso del docente. Por lo tanto, y teniendo en cuenta la naturaleza de las clases de física y la imposibilidad de construir conocimientos científicos en función de un único modo comunicativo, incorporamos aportes de la investigación sobre la multimodalidad en la enseñanza de las ciencias (Lemke, 2002, 1999, 1998, 1997; Kress, Ogborn, Jewitt & Tsatsarelis, 2000; Jewitt, Kress, Ogborn & Tsatsarelis, 2001a, 2001b; Kress, Ogborn & Martins, 1998; Kress & Van Leeuwen, 2001) a nuestro referente inicial (Ogborn et al., 2003).

En este artículo los aspectos multimodales los incorporamos dentro de las categorías elaboradas a partir desde la perspectiva semiótico-comunicativa (Ogborn et al., 2003), con lo que mostraremos que la multimodalidad es intrínseca a la explicación en las clases de física.

Metodología

Se trata de una investigación con una

aproximación metodológica cualitativa, y estudio instrumental colectivo de casos (Stake, 1998). Los participantes en el estudio son tres ingenieras profesoras experimentadas de física de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Los datos son fundamentalmente relatos de episodios de clases de física de los primeros cursos de una facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo (Venezuela) recogidos a partir de grabaciones en video y notas de campo de las investigadoras que han actuado como observadoras no participantes. Las grabaciones se han transcrito en una plantilla que recoge tanto la parte verbal como la parte multimodal. Las explicaciones de las profesoras se han dividido en episodios en base a ser una unidad de contenido que tiene significado en sí mismo.

Análisis

En este apartado presentamos la forma de analizar mostrando el estudio de algunos episodios o fragmentos explicativos de las clases seleccionadas. Las categorías definitivas de análisis surgen después de un primer proceso de análisis exploratorio aplicando las categorías obtenidas directamente del referente teórico aportado por la obra de Ogborn y colaboradores (2003) que nos induce a incorporar categorías no consideradas inicialmente. En este artículo vamos a comentar e ilustrar solo algunas de las categorías definidas (Figura1), las que nos parecen que aportan una nueva perspectiva a la didáctica de las ciencias y/o tiene más relación con la multimodalidad.

La 'creación de diferencias' o de la necesidad de las explicaciones

Los resultados de nuestro análisis indican que las profesoras utilizan diferentes estrategias para la creación de la necesidad de explicaciones y que se pueden incluir

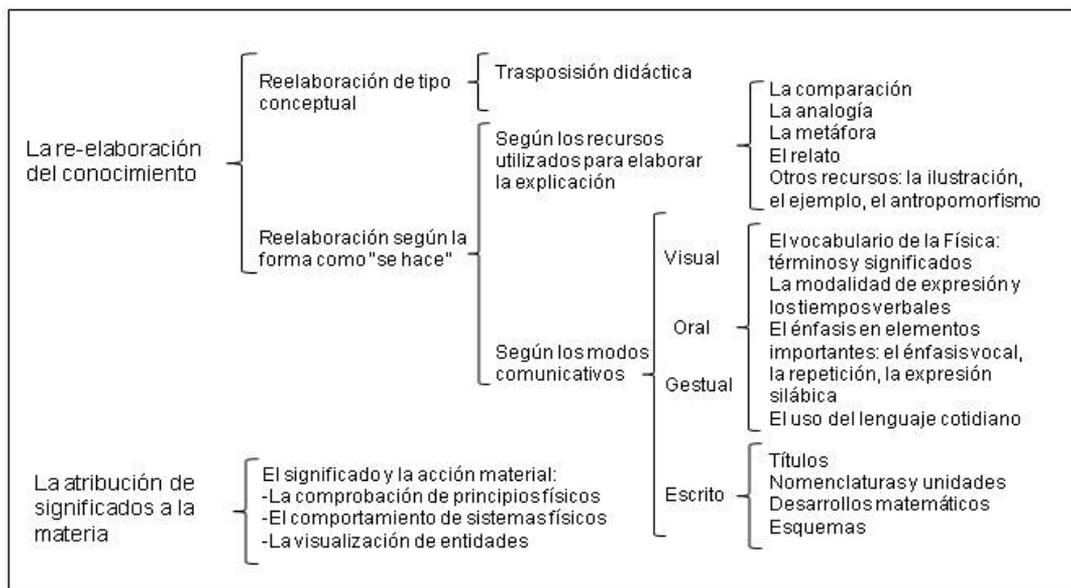


Figura 1. categorías de análisis en relación a los componentes reelaboración del conocimiento y atribución de significado a la materia

dentro de las dos formas que describe el modelo de Ogborn:

I- Las que surgen de lo que los alumnos no saben y lo que necesitan saber. [Lo que vamos a hacer a continuación]

II- Las que surgen de lo que los alumnos creen que saben y los conocimientos que se oponen a ello. (¿Qué expectativas tienes?)

I- Las diferencias surgidas a partir de lo que los alumnos no saben y lo que necesitan saber:

Se orienta a la creación de expectativas en los alumnos. Y mayoritariamente las profesoras lo hacen basándose en una estrategia que resulta ser una combinación de la identificación del tema o tópico que se desarrollará, mediante el uso de *anticipaciones de aspectos de contenido* y el uso de *títulos y sub-títulos*.

La *anticipación de aspectos de contenido* (a lo largo del artículo lo llamaremos

también sólo 'anticipaciones') involucra en muchos casos, dar a conocer a los alumnos parte o la totalidad de los aspectos o entidades que se elaborarán a continuación y/o en las sesiones sucesivas de clase, y que puede que no sean, en ese momento, comprendidos por los alumnos. Este tipo de 'anticipación' es la forma de crear diferencias más utilizada por las profesoras en las diferentes lecciones, la encontramos en el 73% de los episodios que analizamos. La forma más comúnmente usada es incorporando ésta en textos explicativos. En la tabla 1 presentamos un fragmento donde podemos ver este tipo de anticipación.

Aparte de mostrar una anticipación de contenido, este ejemplo también nos muestra la multimodalidad en la explicación. Efectivamente, se habla, se escribe en la pizarra y se hacen gestos que indican la trayectoria de movimientos.

Tabla 1: Creación de diferencias por expectativas (anticipación de contenidos). [Gi]; para $i = 1, 2, 3, \text{etc.}$, representa gestos de la profesora. Las letras en “negritas” denotan énfasis de voz

Lenguaje Oral	Lenguaje Escrito y Visual	Gestualidad
<p>...Voy a recordarles... un poquito lo que hemos visto en lo que se refiere a la rotación, que no lo hemos visto como rotación sino como movimiento circular. Cuando una partícula en traslación describe una trayectoria circular, entonces decimos que la partícula está en movimiento circular debido a su trayectoria [G2]. Pero esa partícula podría estar formando parte de un cuerpo formado por infinitas partículas y en las que todas... pueden estar describiendo el mismo movimiento circular, todas trayectorias circulares [G3] y entonces lo llamamos movimiento de rotación, porque es un cuerpo que está rotando, que está girando en tomo a un eje. Si esta rotación se hace en tomo a un eje que está fijo entonces lo llamamos rotación pura. (Escribe título en pizarra: [E1]). Ya ustedes saben que cuando hablamos de movimiento puro estamos hablando de un movimiento que no se encuentra contaminado con otro tipo de movimiento. Cuando hablábamos de traslación pura hablábamos de sólo traslación; ahora vamos a hablar de sólo rotación. Específicamente del movimiento de rotación pura realizado por un cuerpo rígido.</p>	<p>[E1] Cinemática del movimiento de rotación pura</p>	<p>[G2] Realiza movimiento en forma de círculo. [G3] Repite gesto anterior</p>

Tabla 2: Creación de diferencias por expectativas (anticipación de contenidos)

Lenguaje Oral	Lenguaje Escrito y Visual	Gestualidad
<p>Profesora: ..Vamos a ver qué tipo de movimiento podemos tener para empezar a estudiar los tipos de movimiento... Hay muchísimas formas de clasificar el movimiento (Escribe el título del tópico a desarrollar: [E1]) <i>nosotros en Física I vamos a tomar algunas de ellas, que son las más comunes y las más importantes. Primero vamos a clasificar el movimiento según la trayectoria</i> (Escribe como subtítulo en la pizarra: [E2]). <i>Tendremos entonces que hay movimientos rectilíneos y movimientos curvilíneos</i> [G1]. (Escribe como subtítulo en la pizarra: [E3]). <i>Tenemos también otra forma de clasificar el movimiento de acuerdo al cambio del vector velocidad</i> (Escribe en la pizarra como título: [E4])</p>	<p>[E1] Clasificación del Movimiento</p> <p>[E2] I). Según la trayectoria: -Rectilíneo [E3] -Curvilíneo [E3] II) Según el cambio de V:[E4]</p>	<p>[G I] Con la mano derecha hace movimiento en línea recta y luego en forma de una curva</p>

Clasificación del Movimiento	
I) Según la Trayectoria	1) Rectilíneo - \vec{v} ctte \Rightarrow MRU
- Rectilíneo	2) Rectilíneo $\vec{v} \neq$ ctte, $\vec{a} =$ ctte \Rightarrow MRUA
- Curvilíneo	3) Rectilíneo - Variado
II) Según el Cambio de \vec{v}	4) Curvilíneo - $\vec{a} =$ ctte
- $\vec{v} =$ ctte.	5) Curvilíneo $\vec{a} \neq$ ctte
- $\vec{v} \neq$ ctte; $\vec{a} =$ ctte	
- $\vec{v} \neq$ ctte; $\vec{a} \neq$ ctte	

Figura 2. La creación de diferencias por anticipación de aspectos de contenido mediante la esquematización en pizarra.

Otra forma de crear expectación mediante 'anticipación' es a través de la *utilización de títulos, sub-títulos y esquematizaciones*. En el episodio que mostramos en la Tabla 2, podemos ver cómo a medida que la profesora Aída anticipa los diferentes aspectos de contenido, va plasmando los títulos y sub-títulos en la pizarra y de esta forma va elaborando un esquema (Figura 2), en el que se puede captar como un todo lo que se desarrollará a continuación en el transcurso de la lección o lecciones. Se constata aquí la multimodalidad en la anticipación de la profesora (gestos, pizarra y habla).

Otro esquema parecido al anterior es el que representa la profesora Aida en la pizarra (Figura 3) como anticipación al estudio del movimiento de rotación en base al conocimiento de los alumnos del movimiento de traslación. De nuestros análisis se desprende que para el estudio cinemático, dinámico y energético del movimiento de rotación pura de un cuerpo rígido, las tres profesoras usan como estrategia para crear diferencias, la anticipación de aspectos de contenido, incorporando las mismas en esquemas elaborados en la pizarra.

II)- Las diferencias surgidas a partir de lo

que los alumnos creen que saben y los conocimientos que se oponen. Las expectativas de los alumnos.

Estas diferencias se fundamentan en el uso de estrategias que contribuyen a que los alumnos duden acerca de los conocimientos que creen tener. Es otra forma de crear "tensiones semióticas" (Ogborn et al., 2003). Básicamente consiste en el planteamiento de situaciones que generan conflicto cognitivo en los alumnos. Tal conflicto motiva las explicaciones siguientes. Las profesoras usan diferentes estrategias para crear expectativas:

a) *La propuesta de enunciados para juzgar si son o no correctos:*

Esta estrategia se basa en el planteamiento de situaciones (reales o imaginarias), un análisis de la profesora respecto de la situación planteada, la emisión, por parte de la profesora, de un juicio respecto a la cuestión de interés, y finalmente el planteamiento de preguntas como ¿verdadero o falso?, ¿verdad?, ¿sí o no?, etc., con el fin de que los alumnos juzguen si el mismo es o no correcto. Esta forma de proponer los enunciados resulta una estrategia poderosa para crear conflictos cognitivos, y a la vez motivar discusiones en el aula.

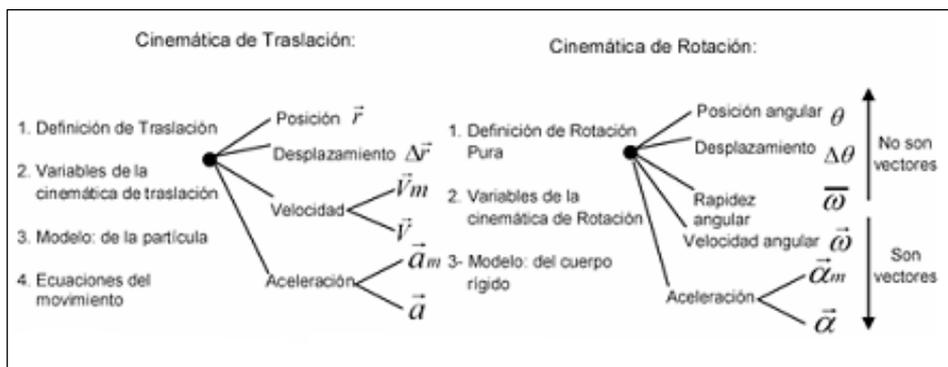


Figura 3. La creación de diferencia. La anticipación de aspectos de contenido y el uso de esquemas de razonamiento por analogía

b) *La propuesta de imaginar situaciones:*

Por ejemplo, en otro episodio, la profesora Ana intenta que su grupo clase “vea” que la aceleración y el movimiento de un cuerpo pueden no tener el mismo sentido, mediante el planteamiento de una situación que los alumnos deben imaginar; y posteriormente plantea enunciados para juzgar si son o no, verdaderos (Tabla 3).

En este fragmento de transcripción podemos constatar la importancia de la gestualidad para mostrar cómo son las fuerzas y las magnitudes cinemáticas en una situación de la que se habla.

En el primer párrafo del episodio vemos que la profesora intenta llevar la explicación por un camino dado, y que después abandona, al “detectar” por medio de “mirar” e interpretar el silencio de su grupo clase, que éstos no la siguen en su explicación. A partir de ese “feed back”, la profesora propone la imaginación de una situación, realiza algunos planteamientos e incorpora, al final, una pregunta con el fin de que el grupo juzgue si lo que ella planteó antes es o no verdad. Aún cuando en el fragmento están presentes aspectos que pudieran considerarse ‘errores conceptuales’ de la profesora, destacamos que la docente usa repetidamente y como parte de sus estrategias didácticas, la propuesta de enunciados para juzgar si son o no co-

rrectos y que contribuyen a crear conflictos cognitivos.

c) *A partir de vacíos que hay que completar o tensiones que resolver*

La creación de necesidades de explicaciones o de tensiones semióticas no siempre tiene que ser iniciativa del profesor o profesora; al contrario, puede también partir de los alumnos. Puede aparecer como resultado de un proceso de pensamiento de los alumnos sobre la explicación y puede estar orientado hacia la comprobación de una idea o de la puesta en común de una dificultad de comprensión.

d) *A partir de hacer de lo evidente algo que requiere explicación*

En el episodio siguiente, Ana elabora una explicación orientada a la construcción de la entidad energía potencial gravitatoria. En el mismo, la profesora plantea una situación cotidiana que consiste en dejar caer un cuerpo, imaginariamente, desde diferentes alturas. Existe comunión entre el grupo respecto a que la velocidad con la que el cuerpo alcanza el suelo es mayor, a medida que la altura desde la que se deja caer aumenta. Sin embargo, lo que pareciera no resultar tan evidente para ellos, y que, por tanto, representa el aspecto que crea la tensión que hay que resolver, es la relación altura velocidad del cuerpo.

Tabla 3. La creación de diferencias proponiendo enunciados para juzgar su veracidad. [] en la transcripción denotan "pausa" en el hablar

Lenguaje Oral	Gestualidad
<p>Profesora: ...Una fuerza neta podría producir un desplazamiento, podría no producirlo, ¿Cuándo no lo produciría?, bueno cuando la sumatoria de fuerzas sea igual a cero y el cuerpo está en reposo. Entonces podríamos decir que no hay trabajo realizado porque no hay fuerza. Si la fuerza neta es distinta de cero, seguro hay una aceleración, segunda ley. Hay un cambio en la cantidad de movimiento ¿cierto?, esa aceleración, ese cambio en la cantidad de movimiento será en qué sentido? (Mira al grupo) []. Imagínense ustedes que aplico un montón de fuerzas [G1] a un cuerpo: y ese montón de fuerzas da una resultante para allá [G2] ¿puede de alguna forma el cuerpo aún teniendo una fuerza resultante aplicada hacia allá [G3] moverse hacia acá? [G4]</p> <p>Alumnos: No</p> <p>Profesora: Pues no. Si tenemos masa constante-y es bueno aclarar eso- sabemos que la fuerza es igual a la masa por la aceleración: donde la masa es un escalar que sólo funciona como una constante de proporción: de manera que la fuerza y la aceleración deben ser dos vectores de igual dirección y sentido: o sea que si aceleración ocurre así [G5] el desplazamiento también ocurre así [G6] ¿cierto o falso?</p> <p>Alumno I: Sí</p> <p>Profesora: [] Quiere decir que si la fuerza actúa así [G7] y la aceleración actúa así [G8] también- y eso lo sabemos y eso es verdad porque fuerza es igual a masa por aceleración –cuando las masas son constantes-, entonces quiere decir que el desplazamiento también es así ¿cierto o falso?</p> <p>Alumnos: Cierto</p> <p>Alumno 2: No necesariamente</p> <p>Profesora: ¿Por qué no necesaria mente?</p> <p>Alumno 2: Porque si viene- por ejemplo- un carro y yo intento detenerlo aplicándole una fuerza...</p> <p>Profesora: Muy bien. Si la fuerza es aplicada así [G9] para detener [G10] algo que viene en movimiento así [G11], pues el desplazamiento es así [G12]. aún cuando la fuerza aplicada es así [G13]. ¿Sí o no?</p> <p>Alumnos: Sí</p> <p>Profesora: Okey. Recuerden, recuerden las definiciones. Recuerden que la aceleración y el movimiento no tienen por qué tener el mismo sentido. Acuérdense siempre de eso. Seguimos...</p>	<p>[G1] La profesora colocando las manos una frente a la otra, ilustra las fuerzas que obran sobre un cuerpo</p> <p>[G2] La profesora mueve el brazo izquierdo hacia su izquierda</p> <p>[G3] Mueve el brazo izq. otra vez hacia su izquierda</p> <p>[G4] Mueve brazo izquierdo de izquierda a derecha</p> <p>[G5] Mueve brazo izquierdo de derecha a izquierda</p> <p>[G6] Repite el movimiento anterior</p> <p>[G7] Mueve brazo izquierdo de izquierda a derecha</p> <p>[G8] Mueve brazo izquierdo de izquierda a derecho</p> <p>[G9] Mueve brazo izquierdo de izquierda a derecha</p> <p>[G10] Hace gesto de escudo con ambas manos</p> <p>[G11] Mueve brazo izquierdo de derecha a izquierda</p> <p>[G12] Mueve brazo izquierdo de derecha a izquierda</p> <p>[G13] Mueve brazos juntos de izquierda a derecha</p>

Profesora: ...*La variable de energía por movimiento me da energía cinética, me da energía por movimiento. Vamos de nuevo al caso de la bola de bowling. Otra vez, la tengo aquí en reposo (ubica con mano izq. punto en el espacio en el que imaginariamente se ubica la bola), no está en movimiento y aparentemente no tiene asociada ningún tipo de energía. Cuando la suelto, claro, comienza a moverse y desarrolla una velocidad que le va produciendo energía cinética y cuando llega al piso tiene una cierta energía cinética. Cuando la dejo caer desde aquí (ubica ahora, imaginariamente, la bola a una altura mayor que la anterior), todos coincidimos en que duele más el golpe, ¿por qué?*

Alumnos: *Por la velocidad*

Profesora: *Porque trae más velocidad. ¿y por qué trae más velocidad?*

Alumnos. *Por la altura...*

Profesora: *Ah porque la dejé caer de una altura mayor ¿cierto?*

Alumnos: *Sí*

Profesora: *Quiere decir que su posición inicial tiene algo que ver con la energía cinética que se va a producir. En la medida en que yo la levante más, en que yo la deje caer desde una posición **más alta**, me empiezo a dar cuenta que la velocidad al llegar al piso va a ser mayor; quiere decir que se produce una energía cinética mayor ¿cierto o falso?*

Alumnos: *cierto*

Profesora: *y esto ¿cómo es posible?*

Alumnos: *sin respuesta*

Profesora: [] *Desde el punto de vista de la energía, esta energía cinética del cuerpo **de dónde salió, de dónde provino** ? (Mira al grupo)*

Alumnos: *sin respuestas*

Profesora: *En los campos, en el campo gravitatorio, en los campos eléctricos, en los campos magnéticos **siempre** la configuración del sistema y la posición de la partícula dentro de ese sistema me van a*

*producir una energía... Esa energía se llama - por eso se llama- **energía potencial**. Es una energía almacenada, que potencialmente puede aparecer en cualquier momento, ¿cuándo?, cuando yo deje esa partícula en libertad para que el campo la mueva hacia donde el campo la quiera mover...*

*...[] **Siempre todo** va a intentar caer hacia el centro de la tierra.... Ese deseo, esa intención que tiene una partícula cualquiera dentro del campo gravitatorio de moverse hacia el centro de la Tierra, y obviamente al moverse hacia el centro de la Tierra se produciría movimiento y se produciría energía cinética, eso es **una energía**: esa intención de moverse es una **energía potencial**. Por eso se le llama potencial. ¿De quién creen ustedes, entonces que depende la energía potencial gravitatoria ? [] de la altura. Porque no es lo mismo dejar caer un objeto de aquí, de aquí o de aquí (ubica la mano izq. en tres puntos a distintas alturas): *mientras más alto esté en cuerpo, más energía potencial tiene, y producirá un movimiento a mayores velocidades y más energía cinética. ¿Sí o no? []...**

En la última parte del episodio observamos que Ana comenta aspectos relativos a la energía potencial; entidad que hasta ese momento no había sido elaborada. Las frases: "...*me va a producir una energía que a veces no se ve; a veces está almacenada pero no se ve. Esa energía se llama [] por eso se llama energía potencial*", y "*Es una energía almacenada, que potencialmente puede aparecer en cualquier momento*", anticipan al grupo clase aspectos de la entidad cuyo significado elaborarán formalmente a lo largo de la lección; y a la vez presenta a la energía potencial como una entidad que puede producirse en cualquiera de los campos que los alumnos, en menor o mayor grado, conocen: eléctricos, magnéticos y gravita-

torio; también que es una entidad 'que a veces no se ve'; resaltando su carácter de entidad impalpable, abstracta; y por tanto más difícil de 'ver' y comprender, además de "que potencialmente puede aparecer en cualquier momento", incorporándole, finalmente, también un aire misterioso.

En base a lo que vamos comentando, consideramos que la "forma" en general como se presenta la frase en conjunto, resulta expectante para los alumnos. En general, el planteamiento de situaciones que generen el conflicto cognitivo, va acompañado de un quehacer de las profesoras orientado a intentar que los alumnos (durante un proceso de interacción entre profesoras- alumnos y/o entre los mismos alumnos), "tomen partido" o se posicionen en relación a una respuesta dada, la que ellos consideran correcta, y que a veces

puede que no sea compartida por la totalidad del grupo.

La elaboración de entidades

En general, las profesoras para la elaboración del significado de las entidades se basan en diferentes recursos, que a su vez se agrupan en dos grandes categorías: I) lo que pueden hacer y para qué sirven y II) cómo se componen.

I)- La elaboración de entidades en relación a lo que pueden hacer y para qué sirven.

A partir del análisis de los diferentes episodios explicativos, extraemos que las profesoras usan diversas estrategias que comentamos a continuación:

Tabla 4. Elaboración de entidades por la analogía

Lenguaje Oral	Gestualidad
<p>Profesora: <i>Cualquier cosa con masa que entre en el campo gravitatorio siente la acción del campo: y el campo [G6] solamente apunta hacia el centro de la Tierra o sea que son flechas así [G7] que apuntan hacia el centro terrestre y todo con masa lo que entre en ese campo, va a sentirse atraído hacia ese centro terrestre [G8]</i></p> <p><i>En el caso de las cargas, los campos pueden ser hacia las cargas [G9] o hacia afuera de las cargas [G10]. Hacia las cargas cuando sean negativas, porque así es la convención, y hacia fuera de las cargas cuando éstas sean positivas.</i></p> <p><i>O sea que si hay una carga que tiene un campo hacia fuera -positiva- [G11] y entra una carga positiva al campo, ésta sale [G12].</i></p> <p><i>Se repelen. Si el campo es generado por una carga negativa. [G13] al entrar en el campo una carga positiva [G14].</i></p> <p><i>Ésta va hacia la carga negativa: se atraen. Entonces la idea de campo -que ya debemos tener una idea muy clara de; él y que lo volverán a ver en física II- es esa cosa [G15] que se genera alrededor de ciertas propiedades y que produce fuerza a distancia. ¿Okey?</i></p>	<p>[G6] Abre los brazos</p> <p>[G7] Hace movimientos de afuera hacia un centro común con ambos brazos</p> <p>[G8] Hace movimiento ilustrando la atracción: mueve brazo izq. en diagonal de afuera hacia un centro</p> <p>[G9] Mueve ambos brazos hacia un centro común</p> <p>[G10] Mueve ambos brazos alejándose de un centro común</p> <p>[G11] Señala con mano izq. un punto en el espacio en el que se ubica imaginariamente la carga positiva</p> <p>[G12] Ilustra con mano der. entrada de carga y su movimiento de salida del campo</p> <p>[G13] Ilustra el campo con movimiento de afuera hacia un centro</p> <p>[G14] Ilustra con mano derecha entrada de carga y su movimiento de entrada al campo</p> <p>[G15] Mueve ambas manos haciendo como mov. circulares y nubosos</p>

a) *Estableciendo semejanzas por analogía:*

En el episodio mostrado en la tabla 4, la profesora Ana elabora la entidad ‘campo gravitatorio’ utilizando como recurso un razonamiento basado en la analogía entre la misma y la entidad campo eléctrico

b) *Planteamiento de diferencias o confrontación entre la nueva entidad y otra entidad ya conocida:*

Esta forma de elaboración se caracteriza porque en lugar de establecerse una relación de semejanza (entre entidades y/o de relaciones entre las mismas), ahora se destaca la ‘diferencia’ o confrontación entre la entidad desconocida, y que se desea construir, y la(s) entidad(es) conocida(s) que se usa(n) como referencia.

c) *‘Mostrar’ las entidades desde otros puntos de vista:*

Una forma de llevar a cabo la construcción de entidades, es presentar unas entidades ya conocidas de tal manera que los alumnos las vean desde otra perspectiva o punto de vista, y/o hacer presente una nueva entidad con esta nueva perspectiva. En uno de los episodios, la profesora Ana elabora la entidad “trabajo realizado por el peso”, al mismo tiempo que presenta la entidad ‘peso’ desde otro punto de vista: el de una “fuerza que puede realizar trabajo”. En el fragmento mostrado, la entidad peso se presenta diferente de la noción construida durante el desarrollo del tema Dinámica rectilínea y que se relacionaba a la entidad Ley de Gravitación Universal.

d) *La recogida de los usos cotidianos de las entidades y la diferenciación del uso científico:*

Un recurso utilizado por los profesores durante la elaboración de las entidades, es recoger y mostrar los usos cotidianos de las mismas a la vez que incorporan diferencias entre estos usos y los de tal entidad en el contexto científico.

II)- Elaboración de entidades en base a cómo se componen las entidades.

Cuando las entidades que se elaboran están a su vez formadas por otras, Ogborn y colaboradores comentan que es recomendable que los profesores enfatizen que tal entidad es un todo en base a su estructura. Resumimos a continuación las estrategias encontradas:

a) *La elaboración de entidades y las estructuras de conocimiento esquemático:*

Para introducir las diferentes partes que estructuran como ‘un todo’ a una entidad dada, las profesoras optan por las estructuras explicativas basadas en esquemas. Encontramos tal forma de elaboración en dos de las profesoras para la construcción de la entidad ‘energía mecánica’. También en un fragmento de un episodio de la profesora Ana, ésta elabora la entidad formal ‘diagrama de energía’ eligiendo usar una estructura esquemática (Figura 4) para introducir, y a la vez mostrar como un todo, las diferentes entidades que forman la ‘nueva’ entidad:

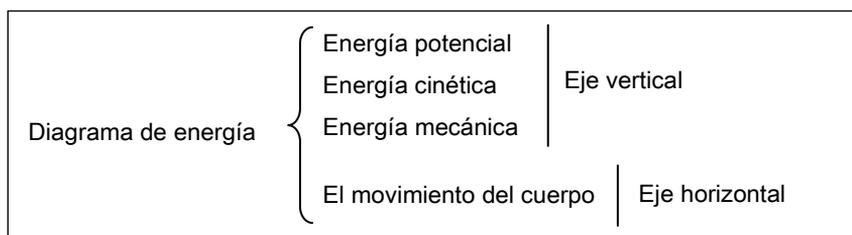


Figura 4: Estructura esquemática de entidades

b) Las explicaciones prototípicas para elaborar entidades:

Entendemos como 'explicaciones prototípicas' a aquellas que aún elaborándose en base a una entidad y/o situación concreta, pueden ser útiles para la construcción de otras entidades y sus significados, ya sea dentro del mismo campo de aplicación o en otro. Consideramos que la explicación de Ana para elaborar la entidad trabajo realizado por el peso, para el caso de un satélite artificial girando en torno a la Tierra, es un ejemplo de una explicación prototípica. Efectivamente, observamos que la misma puede hacerse extensible y generalizable a otras situaciones. En la figura 5 mostramos la explicación prototípica que mencionamos y su aplicación al análisis de otros casos.

Reelaboración de conocimiento

Esta categoría del modelo de Ogborn se refiere a la transformación de conocimiento que va teniendo lugar siempre a lo largo de una explicación en un episodio o en episodios sucesivos. Sabemos que los conocimientos científicos se transforman de un modo radical antes de ser adaptados a una forma de docencia dada y se van transformando durante la docencia; así como también, que durante el proceso de aprendizaje estos conocimientos se transforman otra vez a medida que los alumnos toman conciencia acerca de los mismos. Compartimos con investigadores como Chevallard (1991), Ogborn y colaboradores (2003), respecto de que lo que explicamos en una clase de ciencias es una forma adaptada del conocimiento, ade-

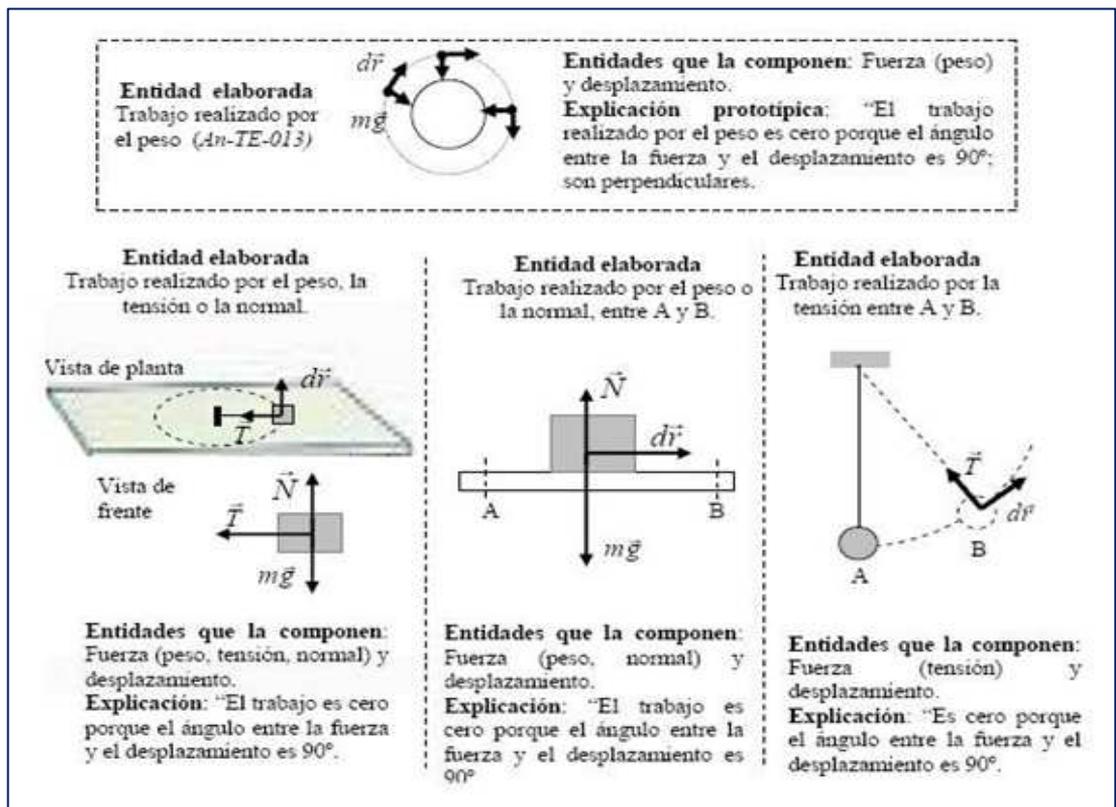


Figura 5. La elaboración de entidades. Las explicaciones prototípicas

cuada a nuestros alumnos y al contexto particular en el que nos desenvolvemos, y que parte de nuestra labor docente en la explicación consiste en buscar elementos o recursos que contribuyan a la transformación de los conocimientos en la forma que convenga al grupo clase.

Las reelaboraciones del conocimiento encontradas las agrupamos, de acuerdo a Ogborn en:

A. Reelaboración de tipo conceptual, que tiene que ver con “la organización interna del conocimiento del profesor” (Ogborn et al., 2003), con la manera como el profesor organiza, presenta y explica a los alumnos un aspecto, tópico o tema específico, adaptado al nivel en el cual se explica y a los alumnos en un contexto particular.

B. Reelaboración según la forma en la que se hace o se lleva a cabo la explicación, que *analiza los recursos incorporados en las explicaciones*, así como *los diferentes modos comunicativos utilizados* por las profesoras durante el desarrollo de las clases. Ilustramos con fragmentos de episodios sólo algunas de las categorías de este segundo tipo de reelaboración.

a. *Según los recursos usados:*

- Encontramos que las tres profesoras utilizan, en general, la *analogía*, la *metáfora* y los *relatos*. El recurso más usado por las profesoras es la analogía; y la encontramos en diferentes episodios expresada de forma explícita, así como en forma ‘tácita’. En general, las tres profesoras usan la analogía, para introducir los temas que tienen que ver con el movimiento de rotación pura (cinemática y dinámica).
- La metáfora es el recurso menos usado por las tres profesoras.
- No encontramos la utilización del relato o la historia, en el sentido descrito en la obra de Ogborn y colaboradores (2003);

pero sí que encontramos el planteamiento de relatos sencillos, la mayoría basados en situaciones de la vida cotidiana y donde las entidades protagonistas (lo que son, lo que hacen, o para que sirven) pueden ser utilizadas como referencia para conocer otras entidades que se elaboran en la lección en ese momento.

- Observamos la incorporación de *ilustraciones* y *ejemplos*; así como la estrategia de *dotar de cualidades humanas a las entidades físicas* o el uso de términos ‘antropomórficos’, como ‘otros recursos’ para contribuir a la reelaboración de conocimientos.

A continuación, comentamos el uso de las ilustraciones y de los ejemplos en las explicaciones. Consideramos *ilustraciones* a aquellas representaciones elaboradas cuya finalidad básicamente consiste en ‘ilustrar’ o mostrar a modo de prueba, situaciones, fenómenos, relaciones, objetos, etc., normalmente reales, como ‘representativos’ de aquellos científicos que se discuten o presentan. Normalmente se usan para ‘reforzar’.

Encontramos el uso de la ilustración, cuando las profesoras plantean que un “movimiento de proyectiles”, es aquel que realiza una pelota de béisbol luego de ser bateada; o que un coche que se desplaza por una autovía recta a 80 Km/h describe un “movimiento rectilíneo uniforme”. Esta actuación contribuye a que los alumnos puedan ‘ver’ que la ciencia; en nuestro caso la física, no es algo que permanece fuera del mundo de la experiencia humana; sino por el contrario, ‘es’ una parte especializada de ese mundo.

En otros episodios plantean ilustraciones sencillas, por ejemplo:

1. El movimiento circular de una partícula se ilustra con el movimiento de la punta de la aguja (el segundero) de un reloj.
2. El movimiento del conjunto de aspas de un ventilador, del volante de un automóvil

son una ilustración del movimiento de rotación pura.

3. La relación entre las energías cinética y potencial se ilustra mediante la caída de una bola de bowling desde el Empire State. El ejemplo, también consiste en representaciones que se elaboran con la finalidad de mostrar algo; una entidad, un fenómeno, una situación; pero a diferencia de la ilustración, a partir de él se puede establecer una generalización. Un ejemplo lo encontramos a partir de una situación planteada, una generalización respecto a la imposibilidad de que una fuerza centrípeta (con centro de trayectoria en reposo) realice trabajo (tabla 5):

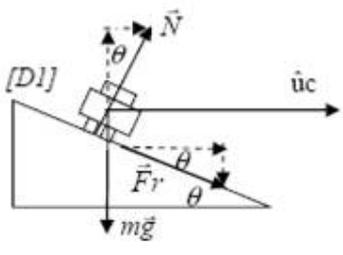
b. Según los modos comunicativos usados:

- Los lenguajes usados por las profesoras, tal como hemos ido viendo en las ilustraciones de las distintas categorías de análisis fueron: *Oral-Escrito*: los títulos, nomenclatura y unidades, desarrollos matemáticos, esquemas. *Visual*: representaciones convencionales y de sistemas físicos, representaciones de

situaciones o de fenómenos físicos, gráficas, y *Gestual*: Los gestos y los movimientos corporales son una constante en las explicaciones cumpliendo diversas funciones en relación a la construcción y reelaboración de conocimiento. *Accional con la incorporación de objetos materiales*: añadimos esta categoría por la relevancia que tiene en el caso de una materia de ciencia experimental

- Los diferentes lenguajes o modos comunicativos no aparecen en la explicación como entes aislados; sino que al contrario, se enlazan o integran como un todo en la explicación; a tal extremo, que en algunos casos, la comprensión de la misma no sería posible si se omite al menos unos de los modos en cuestión. La conjunción de los diferentes lenguajes, facilitan el flujo comunicativo en el aula de clases, a la vez que plantean nuevos interrogantes desde el punto de vista de la enseñanza de las ciencias.

Tabla 5: El ejemplo en las explicaciones.

Lenguaje Oral	Gestualidad
<p>Profesora: ...Una fuerza central podría ser la normal y podría ser también la fuerza de roce. Esa fuerza centrípeta, según la definición de trabajo, puede realizar trabajo, ¿hay trabajo realizado por la fuerza centrípeta? Si tenemos un carrito que describe una curva, en este caso la curva es peraltada okey?, si hacemos el diagrama de cuerpo libre [D1], tenemos que las fuerzas que obran son el peso, la normal y la fuerza de roce. Esto lo sabemos, ya lo hemos hecho antes ¿cierto? La fuerza neta en la dirección centrípeta es [E1]. ¿Cuál es trabajo realizado por la fuerza centrípeta?</p> <p>Alumno 2: No se mueve en la dirección de F.</p> <p>Profesora: Es que la fuerza centrípeta es perpendicular al desplazamiento del carro; entre la fuerza y el dr hay un ángulo de 90° por tanto en general, la fuerza central no produce trabajo, cuando el centro de la trayectoria está en reposo. Okey?</p>	 <p>[E1]</p> $\sum F_c = (N \text{sen} \theta + F \text{cos} \theta) \hat{u}_c$

- Encontramos fragmentos y/o episodios explicativos en que los diferentes modos comunicativos usados se integran entre sí para la construcción de un mismo significado en una forma que difícilmente pudiera ser construido sólo en función de palabras. Este tipo de relación, Kress et al. (1998), la llaman de *cooperación*. En otros casos, cada modo comunicativo, contribuye a crear ‘porciones’ de significados; en este caso, entre tales modos comunicativos se establece una relación de *especialización* (Kress et al., 1998).

A continuación, comentamos e ilustramos el uso particular de los diferentes modos comunicativos identificados en las explicaciones.

El lenguaje oral:

- Las explicaciones elaboradas por las profesoras incorporan la terminología que el área de conocimiento (la física) asigna a las entidades que en ella subyacen.
- La modalidad de expresión es generalmente, asertiva o afirmativa, e interrogativa. La forma interrogativa se presenta en tres formatos: preguntas sin intención de obtener respuestas por parte del grupo (pregunta retórica), preguntas orientadas a respuestas “monosilábicas”, cortas o fáciles y preguntas para extraer el pensamiento y comentarios de los alumnos (preguntas con fines dialógicos).
- Las formas verbales utilizadas son: la forma presente y la forma presente con matiz de futuro; esto se nota por el uso de expresiones del tipo “vamos a”. También encontramos la elaboración de explicaciones en la forma verbal pasado.
- Las profesoras utilizan varias estrategias con la finalidad de resaltar, enfatizar o fijar la atención respecto a conceptos, ideas, situaciones, términos científicos, etc., entre estas: el énfasis

vocal, la repetición y la expresión silábica. En un mismo fragmento explicativo podemos encontrar la conjunción de uno o más de dichas estrategias.

- Las profesoras elaboran sus explicaciones combinando el lenguaje científico, de la física, con el lenguaje cotidiano y sencillo.

El lenguaje escrito (en la pizarra).

Las profesoras conjugan este modo comunicativo con otro, principalmente con el oral. Es utilizado para:

- Identificar los diferentes temas y tópicos que se desarrollaran (los títulos),
- Presentar a los alumnos de manera concreta, la nomenclatura física utilizada para designar las diferentes variables o entidades escalares o vectoriales que se estudian, así como la representación simbólica de las unidades en la que se expresan según uno o varios sistemas de unidades (la nomenclatura y las unidades),
- Plantear expresiones básicas; así como el proceso de deducción de ecuaciones generales a partir de las mismas (los desarrollos matemáticos/ecuaciones) y
- Exponer de forma clara y resumida los aspectos claves respecto a una entidad, tópico o tema, para destacar la relación de similitud o diferencia entre las entidades, simbología, interpretación y/o aplicación; y/o para revisar de manera ordenada y secuencial aspectos ya vistos en sesiones anteriores, o para plantear aquellos que desconocen pero que serán desarrollados en esa y/o posiblemente en las sucesivas, sesiones de clase (los esquemas).

El lenguaje visual (en la pizarra):

En las clases de física consiste en representaciones de fenómenos del mundo real, sistemas físicos, representaciones científicas ‘convencionales’ en dos y/o tres dimensiones, gráficos, etc.; y en los que encontramos simbolismos geométri-

cos como las flechas, información en forma de notas, leyendas o subtítulos, y símbolos de unidades entre otros. Respecto al este lenguaje encontramos que:

- La combinación de los diferentes elementos que incluyen las representaciones gráfico-visuales; y su integración con otros modos comunicativos contribuyen a la creación de sentido y significado.
- Para la construcción de significados, se integra con otros modos comunicativos estableciendo, en unos casos, relaciones de cooperación, y en otros, relaciones de especialización.

El lenguaje gestual y de los movimientos corporales:

Se observa en los diferentes episodios analizados. Encontramos la utilización, por parte de las tres profesoras de recursos gestuales en función de movimientos corporales y el uso de manos y dedos para:

- Destacar o hacer hincapié en aspectos explicados mediante el lenguaje oral, escrito y/o visual, por ejemplo usando la señalación con el dedo índice.
- Representar, ilustrar o mostrar una situación, el movimiento de un sistema físico, y/o entidades físicas.
- Para hacer que aquello que se presenta como estático por medio de una figura y/o objeto material, o su análisis, tome la apariencia de tener movimiento, de ser 'dinámico'.
- Los gestos incorporados en las explicaciones contribuyen a estimular la visión espacial de los alumnos, y por tanto su capacidad de abstracción.

La incorporación de *objetos materiales para hacer demostraciones* en el aula:

Es otro de los elementos incorporados en las clases de física como medio para contribuir a la transformación de significados científicos.

- Las profesoras incorporan en sus lecciones, elementos u objetos materiales con el fin de: comprobar principios físi-

cos, ilustrar el comportamiento de sistemas físicos, y/o facilitar la visualización de entidades no visibles,

- Las demostraciones, acompañadas de explicaciones verbales (oral y escrita), representan una poderosa herramienta ya que permite a los alumnos visualizar aquello que "la teoría dice",
- La "acción", en la forma de una demostración o práctica (Jewitt et al., 2001b) constituye otro valioso recurso para la construcción de significados.
- Cuando la demostración se incorpora antes del desarrollo teórico correspondiente, actúa como agente motivador o impulsor de la siguiente construcción de significados.

A continuación profundizamos un poco más en relación a la parte de multimodal que incluye *las acciones con o sobre objetos* por considerarse muy importante en las explicaciones de física ya que contribuye a que los estudiantes puedan ver las demostraciones desde el punto de vista de la teoría física, contribuyendo a la construcción de significados científicos. En concreto, la incorporación en las lecciones, de elementos u objetos materiales tiene como fin:

- Comprobar principios físicos: apoyándose en la utilización de elementos como pesas, banquillo giratorio y sistema rueda-eje, y con la participación de los alumnos para llevar a cabo las experiencias.
- Ilustrar el comportamiento de sistemas físico con objetos: En este caso usa un bolígrafo para representar resortes y desarrollar una explicación acerca del "comportamiento" del mismo al ser estirado o comprimido.
- Facilitar la visualización de entidades no visibles, para lo cual se basa en el movimiento de un bolso que sujeta con la mano y que hace descender.

En uno de los episodios analizados, la profesora incorpora una práctica, para mostrar una situación con el fin de "hacer

ver” al grupo clase, lo que la teoría dice que sucederá; y específicamente en rela-

Tabla 6. Demostración sobre la conservación del momento angular

Lenguaje Oral	Gestualidad
<p>Profesora: <i>¿Se acuerdan del problema del banquillo giratorio y el estudiante que está sentado en él sosteniendo unas pesas? Lo que vamos a hacer ahora es exactamente eso. Vamos a observar el fenómeno, y para eso necesito un voluntario []. Luis ven acá. Siéntate Luis. Lo que vamos a demostrar hoy es angular ¿qué dice el principio de la conservación del momento angular? [] ¿cuándo se conserva el momento angular? []. Cuando la sumatoria de torques externos es igual a cero. Aquí tenemos un banquillo cuyo roce en el eje es casi nulo [G1] : es un roce casi despreciable. ¿Qué hace? Es un banquillo que puede girar libremente. Vamos a poner a Luis que asumimos que es simétrico con dos pesas de masas iguales en cada mano. Como las masas son iguales, ¿cuánto vale el torque neto respecto a cualquier punto respecto al eje de rotación. [G2]</i></p> <p>Alumnos: (inaudible)</p> <p>Profesora: <i>Las masas, como son iguales, hacen torque neto igual a cero respecto a cualquier punto del eje de rotación (Mira al grupo) ¿recuerdan eso?</i></p> <p>Alumnos : (sin respuesta)</p> <p>Profesora: [] (mientras pasea la mirada por el auditoria) <i>Muchachos (aquí usa un tono como descendente) el torque neto es cero porque los torques o momentos de rotación de las masas con respecto a cualquier punto respecto al eje de rotación son de la misma magnitud pero de signos opuestos, de manera que el torque neto es igual a cero, ¿recuerdan?, lo ilustramos la clase pasada, revisen el cuaderno, ¿lo vieron? [] (los alumnos buscan en sus notas)</i></p> <p>Alumnos: <i>Sí</i></p> <p>Profesora. <i>Okey. Vamos a hacer lo mismo que pasó en el problema: vas a mantener estirados los brazos y luego vas a recoger las pesas doblando los brazos hasta que puedas, acercando las pesas a tu cuerpo y vamos a ver qué pasa [] [G3]</i></p> <p>Profesora: <i>Dale Luis, mete las pesas [] (el alumno hace lo indicado y se observa que el banquillo gira con mayor rapidez cuando el alumno recoge las pesas y viceversa) [EXPERIENCIA 1].</i></p>	<p>[G1] Señala el banco giratorio y le da un giro</p> <p>[G2] Señala moviendo la mano derecha de arriba a abajo a lo largo del eje de simetría del alumno sentado</p> <p>[G3] La profesora comienza a girar al alumno con los brazos abiertos con las pesas en las manos.</p>

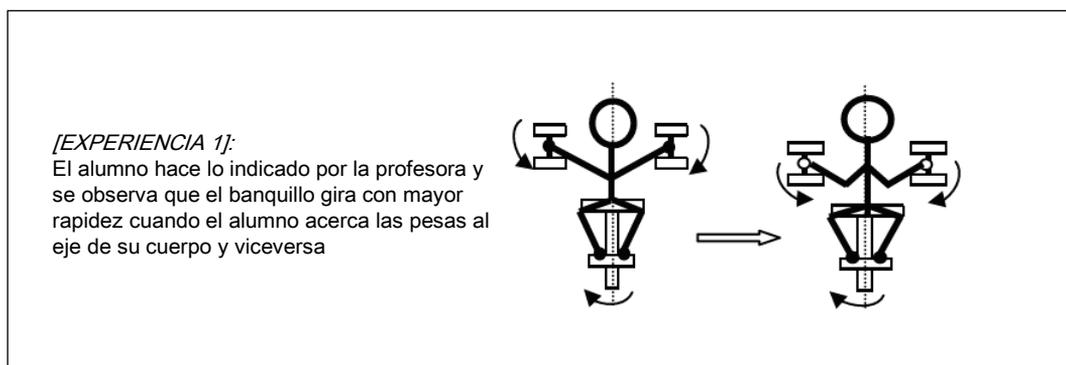


Figura 6. Uso de objetos materiales para hacer demostraciones. Experiencia 1

ción con el Principio de la conservación del momento angular (figura 6, tabla 6), destacamos también el papel que ejerce esta demostración con objetos a crear un ambiente de comunión con el alumnado, que participa activamente en la demostración.

Consideramos que el “ensamble” de los diferentes modos comunicativos usados: las palabras de la profesora, los gestos (denotadas en general como G1, G2 y G3 en la tabla de transcripción), la acción, y el componente comunicativo visual que aporta la experiencia en si misma (los alumnos pueden “observar” lo que ocurre), convergen hacia el mismo fin: la construcción de significados. El proceso multimodal de construcción de significados se caracteriza por relación de colaboración que se establece entre cada uno de los modos usados por la profesora en la construcción de las explicaciones. En otros episodios encontramos el *uso de objetos materiales* con la finalidad de representar elementos físicos como resortes o cuerpos cualesquiera y mostrar su comportamiento en determinadas situaciones, (Tabla 7) en el que la profesora ilustra, con la ayuda de un bolígrafo, el comportamiento de un resorte, cuando se aleja de su posición de equilibrio (se estira). Esta explicación se basa en

argumentar de forma oral las razones físicas del comportamiento del resorte, apoyándose en entidades conocidas por los alumnos (desplazamiento, fuerza elástica, velocidad y aceleración), en el *objeto material* y en la incorporación de abundantes gestos a lo largo de la misma.

- En términos generales, la función de estas demostraciones y de la acción de la profesora durante el desarrollo de las mismas, es la de reforzar la visión; el ‘ver’, las entidades físicas o fenómenos físicos en la forma que la teoría afirma que han de “verse” (interpretarse).
- Cuando la demostración se incorpora en la explicación una vez vistos los aspectos teóricos que la fundamentan (como en los episodios antes expuestos), decimos que la función desempeñada por ésta es la de ‘verificar’ que los fenómenos se suceden tal como la teoría lo predice. En este caso, es posible justificar, y a medida que sucede, la situación, hecho o principio físico que se demuestra, retomando aspectos teóricos conocidos previamente.
- Tal interpretación cambia, si la demostración se incorpora antes del desarrollo teórico correspondiente; en este caso actuaría como agente motivador o impulsor de la construcción de significados.

Tabla 7: *Uso de objetos materiales*

Lenguaje Oral	Gestualidad
<p>Profesora: ¿Qué pasa cuando ya no es un campo gravitatorio? Ahora tenemos un resorte. El resorte está en equilibrio; es decir no está deformado. Este es mi resorte [G1]. Este es su tamaño natural [G2], por este lado [G3] está atado a la pared y por este otro a una partícula.</p> <p>Profesora: Comienzo a halar el resorte [G4].</p> <p>Profesora: Cuando yo lo halo, él se estira, desde aquí [G5],....lo suelto.</p> <p>Profesora: ¿Qué pasa cuando lo suelto?, [G6] la partícula comienza un movimiento ¿hacia dónde?</p> <p>Alumnos: Hacia la posición no deformada</p> <p>Profesora: Hacia la posición no deformada [G7], lo que pasa es que cuando pasa por la posición no deformada tiene una velocidad- y esa velocidad se tiene que reducir de alguna manera para poder detenerse-entonces pasa de largo [G8] pero cuando pasa de largo, ahora el resorte empuja o hala hacia acá [G9] porque ahora la fuerza elástica es hacia acá [G10] y la aceleración también es hacia acá [G11] pero la velocidad es en sentido contrario, por lo que en el movimiento la rapidez de la partícula disminuye hasta que se detiene y comienza a moverse ahora en el sentido de la aceleración: ¿todos ven el comportamiento?....</p>	<p>[G1] Muestra en la mano izquierda un bolígrafo en posición horizontal</p> <p>[G2] Muestra la longitud del bolígrafo</p> <p>[G3] Señala el extremo izq. del bolígrafo y luego el extremo derecha del mismo</p> <p>[G4] Manteniendo el bolígrafo en posición horizontal, ubica los dedos índice y pulgar juntos en el extremo derecho y comienza a alejarlos de él y se detiene en un punto del espacio.</p> <p>[G5] Señala el extremo derecho del bolígrafo y vuelve a colocar los dedos en el punto anterior</p> <p>[G6] Separa los dedos</p> <p>[G7] Mueve rápidamente su brazo der. hacia su izquierda.</p> <p>[G8] Ubica dedo índice en el extremo derecho del bolígrafo y lo desplaza hacia su otro extremo</p> <p>[G9] Mueve mano derecha de izquierda a derecha, hacia el extremo derecho del bolígrafo.</p> <p>[G10] y [G11] Repite movimiento anterior.</p>

Discusión de resultados y conclusiones

Presentamos en este apartado un resumen de algunos de los aspectos que caracterizan las clases de física elaboradas por profesoras experimentadas, extraídos a partir de los resultados del análisis de las explicaciones. No todos los aspectos analizados serán discutidos aquí por falta de espacio.

1. El interés en los procesos comunicativos

Tal aspecto lo evidenciamos en los constantes ‘esfuerzos’ de las profesoras por involucrar las ‘voces’ de los alumnos en el

proceso de construcción de significados, transformando la clase magistral en la que se inserta su enseñanza, en una ‘clase magistral comunicativa’. Entre los elementos orientados a la búsqueda de la comunicación encontramos:

- Los elementos verbales de comunicación: La elaboración de preguntas, el planteamiento de situaciones que motiven procesos de análisis y reflexión en los alumnos; y que pueden contribuir, a su vez, a que éstos intervengan espontáneamente durante las clases (para plantear dudas o aportar cuestiones de interés),
- Los elementos no verbales de comunicación: El uso de la ‘mirada’, y la

interpretación del silencio de los alumnos como instrumentos para 'detectar' el proceso de los alumnos, su asimilación y seguimiento de las clases. Estos elementos son expresiones de esa parte de la enseñanza difícil de verbalizar porque se basa en la 'posibilidad' de captar, de notar, de sentir, incluso de pensar la clase en función de 'caras', de mirar y ser mirado, y de las palabras no enunciadas.

c. La adaptación de las explicaciones a las necesidades de los alumnos de la clase.

2. *La importancia de la consideración y adaptación a los alumnos*

Desde nuestra aproximación teórica encontramos la orientación de prestar atención a los alumnos, como audiencia a la cual se dirigen los discursos de las clases de física. Lo notamos cuando desde el inicio del desarrollo de los fragmentos explicativos, se 'prepara a los alumnos' respecto a lo que a continuación se verá; así como en la constante 'consideración' de las necesidades de éstos a lo largo del desarrollo de las explicaciones elaboradas, es decir, de la adaptación de la explicación a ellos. La preparación y la consideración de la audiencia se consiguen a través de la aplicación de una diversidad de recursos didáctico-comunicativos.

3. *El 'convencimiento' de los alumnos como base para la construcción de significados*

Este aspecto se ve en la actuación de las profesoras orientadas a presentar a los alumnos contenidos científicos de una forma tal que la aceptación o asentimiento de los mismos sean resultado de un proceso de razonamiento 'plausible'. Esto lo notamos al identificar los diferentes recursos y estrategias utilizados por las profesoras para la introducción de las variadas entidades científicas que los alumnos, según el currículum de la asignatura, deben construir, así como durante el proceso de transformación de significados.

Todos estos recursos, están alejados de una intención de 'imponer'; al contrario, buscan lograr 'convencerlos' en base a 'hacer ver', justificar, razonar, sobre los diferentes aspectos del conocimiento científico presentados. También se nota, en la actuación de las profesoras un interés por considerar las necesidades de los alumnos, de tal manera que no presentan o no muestran indicios de continuar una lección sin la adhesión previa de los alumnos a los conocimientos que les fueron presentados en ese momento. La intención de 'convencerlos' antes de continuar la lección, prevalece en la labor docente que desempeñan. Este interés de 'convencer' a los alumnos lo vemos reflejado en las diferentes estrategias y recursos usados durante la elaboración de las explicaciones.

4. *El uso de diversos recursos didáctico-comunicativos con diversa finalidad*

Los resultados de los análisis muestran que las profesoras a lo largo de sus explicaciones, usan diferentes recursos didáctico-comunicativos, para:

- a. Captar y mantener la atención de los alumnos
- b. Captar, interceptar o subrayar manifestaciones (explícitas o no) de la adhesión en los alumnos
- c. Contribuir a crear o a hacer más presentes (más cercanas) a las entidades científicas presentadas en las lecciones
- d. Implicar al auditorio en el proceso de construcción de significados
- e. Aportar razones para 'convencer' a los alumnos en relación a los conocimientos científicos que se reelaboran en las clases.

Adicionalmente, las profesoras incorporan en sus explicaciones, una serie de elementos relacionados con la comunicación, y con carácter retórico, usados como estrategias para destacar, resaltar, enfatizar o llamar la atención de los alumnos (repetición, énfasis vocal, expresiones silábicas, la identificación de los temas

por los títulos y sub-títulos, etc.) sobre aspectos considerados de interés. Tales resultados se obtienen a partir de las diferentes categorías de análisis elaboradas a partir de nuestra perspectiva teórica; específicamente desde aquellas que tienen que ver con la construcción de conocimientos.

5. La multimodalidad en las explicaciones en las clases de física.

En los diferentes episodios analizados encontramos que las explicaciones elaboradas por las profesoras son construcciones semióticas caracterizadas por la conjunción de diferentes modos comunicativos. Aunque el lenguaje oral es el más omnipresente; lo encontramos mayoritariamente compartiendo espacio con otros lenguajes de las clases. En los casos estudiados, los diferentes lenguajes no aparecen en las explicaciones como entes aislados; al contrario, se enlazan o integran como un todo, y durante el proceso de construcción de significados, se complementan y contribuyen a estructurar una explicación, en conjunto, coherente y convincente. En algunos casos, la comprensión de la explicación no sería posible si se omitiera al menos uno de los modos en cuestión. En este sentido, nuestros resultados están de acuerdo con los de otros investigadores (Lemke, 1998; Kress et al., 1998; Márquez, 2002).

Desde una visión de global, vemos que los diferentes modos comunicativos pueden integrarse de modo que, en unos casos, colaboran entre sí para la construcción de un mismo significado, y en otros, cada uno contribuye a crear 'porciones' que al enlazarse llevan a la construcción, como un todo, de un mismo significado. En términos generales, las relaciones establecidas son, según el lenguaje de Kress y colaboradores (1998), de cooperación y especialización respectivamente. Además del lenguaje verbal, encontramos lenguajes formales matemáticos, elementos del len-

guaje gráfico-visual; así como un lenguaje gestual y, un aspecto que resulta peculiar de las clases de ciencias, las explicaciones que se elaboran actuando sobre el mundo físico, usando objetos materiales o haciendo experiencias con estos objetos. Tal característica de explicar 'haciendo cosas' con objetos, aparatos, etc., es fundamental y distintiva de la explicación en las clases de física y, en general, en las clases ciencias. El lenguaje que las profesoras escriben en la pizarra, representa otra forma usada para hacer llegar, y a la vez destacar, a los alumnos parte del 'lenguaje de la mecánica' que deben entender. Y, como muy relevante para el proceso de aprendizaje, ayuda a ordenar y categorizar el conocimiento. En definitiva, ayuda a estructurarlo. Las representaciones científicas convencionales dibujadas en la pizarra incorporan un sentido de rigurosidad científica ya que son representaciones simbólicas que contribuyen a transmitir una visión simplificada de una realidad, entidad o situación compleja. Ayudan a crear un contexto de la 'disciplina de física'.

Un elemento importante del perfil de un ingeniero es su pensamiento abstracto; es decir su capacidad para trabajar con símbolos, espacios, relaciones, fórmulas, y su capacidad para 'visualizarlos'. Las profesoras contribuyen a que los alumnos se 'entrenen' en relación a estos elementos de formación, cuando mediante los gestos representan entidades (escalares y vectoriales), muestran (en el sentido de ilustrar) el movimiento de sistemas físicos; así como otras entidades resultantes de operaciones entre las mismas. Aunque algunas perspectivas afirman que la inclusión del objeto material puede distraer la atención del oyente en una dirección que se aleja de la que importa al orador (Perelman y Olbrechts-Tyteca, 1989); convenimos en que tal aspecto representa un factor de riesgo que está allí, que es cierto; más si consideramos la población

con que las profesoras trabajan (en promedio, 65 alumnos por aula); pero aún así, consideramos que la incorporación de demostraciones y/o experiencias en el aula aporta una serie de elementos que contribuyen tanto a hacer más presentes, es decir, más cercanas a las entidades científicas, así como, en general, al convencimiento de los alumnos, a la construcción de significados científicos y a la 'validación' de los significados ya construidos anteriormente.

Conclusiones respecto al marco teórico usado para el análisis

El modelo de Ogborn et al. (2003), que surge de aportaciones de la Didáctica de las ciencias y de la Semiótica y Comunicación, ha resultado ser un buen instrumento para describir lo que pasa en las clases de física de nivel universitario desde el punto de vista de la actuación del profesor. Aunque el modelo se define como descriptivo, nos ha ayudado a interpretar la actuación de los profesores durante la construcción y reelaboración de significados científicos en las clases de física al aportarnos una nueva manera de mirar las clases, donde la explicación se encuadra dentro un proceso comunicativo y retórico. El modelo tiene aspectos de gran especificidad que lo hacen especialmente útil para entender la actuación de los profesores en las clases de ciencias, y en particular de física, clases que tienen unas características que las diferencian de las de otras materias, la más importante de las cuales es la relación entre los conceptos y teorías científicos y el mundo real.

Algunas de las categorías del modelo de Ogborn nos han resultado especialmente interesantes, en concreto, las nociones de creación de diferencias y la de atribuir de significado a la materia, así como la importancia que se da a la transformación de conocimiento. Estas aportaciones en la didáctica de las ciencias nos hacen cambiar aspectos de la manera de ver lo que

pasa en estas clases, especialmente en relación a la actuación de los profesores. El estudio permitió identificar algunos vacíos en el modelo que convendría llenar y en relación a lo cual nosotros hemos hecho un primer intento. En concreto, echamos en falta la incorporación en el modelo de elementos para analizar y caracterizar los aspectos multimodales y argumentativos de forma destacada, aspectos que siempre están presentes en las clases de física y que valoramos como fundamentales. Ello nos ha llevado a incorporar en el estudio aspectos de otros marcos teóricos como la multimodalidad y aspectos argumentativos en base al modelo retórico-argumentativo de Perelman y Olbrechts-Tyteca (1989) (no presentados en este artículo). Aun cuando dentro de la obra de Ogborn y colaboradores (2003) podamos encontrar recursos para la transformación de conocimiento que podríamos considerar argumentativos, el autor los mira más desde un punto de vista retórico-comunicativo, no habla explícitamente de argumentación, su objetivo no parece ser la argumentación usada en las clases. Finalmente, aporta elementos que permiten extraer elementos característicos del conocimiento didáctico del contenido de las profesoras de física.

Implicaciones para la mejora de la práctica docente

Entre los diferentes 'aspectos relacionados con la práctica de la enseñanza de la física, extraídos de situaciones reales de enseñanza' y que pueden orientar en relación a los elementos a ser incorporados a las 'actividades de formación' desarrolladas están:

1. Las explicaciones han de ser un 'todo' articulado por diferentes modos comunicativos y recursos didácticos usados; incluyendo la incorporación de experiencias demostrativas para atribuir

- sentido a la materia.
2. La presencia de acciones para comprobar la atención, seguimiento y/o comprensión de los alumnos a las explicaciones elaboradas, y adaptarlas a las necesidades de éstos.
 3. La recogida de datos en relación al conocimiento y formas de pensar que los alumnos tienen sobre cuestiones puntuales de la física y que ‘traen’ a la clase. Tiene que ver con la posibilidad de conocer, a través de ellos mismos, las fortalezas y debilidades de los alumnos respecto a los contenidos que enseña.
 4. Las enseñanzas de la física puede aportar más elementos para formación integral de los estudiantes de ingeniería. Debe aportar la plataforma cognitiva para enfrentar otras asignaturas a lo largo de las carreras de ingeniería; así como aportar elementos de formación que definen el ‘perfil’ del ingeniero.

Referencias

- Carter, K. (1990). Teachers knowledge and learning to teach. En: Houston, R. (Ed.), *Handbook of research on teacher education*, pp. 291-310. Nueva York: MacMillan.
- Castells, M.; Seba, M.E.; Roca, A.; Cabellos, M.; Cerveró, J.M. y López, P. (2005). Textos de divulgación científica en las clases de ciencias: un análisis retórico-argumentativo. *Congreso Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias*. Granada: CD Resúmenes.
- Cros, A. (2003). *Convencer en clase. Argumentación y discurso docente*. Barcelona: Ariel Lingüística.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñando*. Buenos Aires: Aique.
- Driver, R.; Newton, P. & Osborne J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), pp. 287-312.
- Duschl, R. & Ellenbogen, K. (1999). Middle School Science Students’ Dialogic Argumentation. In M.Komorek (Eds.) *Proceedings Second International Conference of European Science Education Research Association, ESERA: Research in science Education, Past, Present and Future*, pp. 420-423.
- Duschl, R. & Osborne, J. (2002). Supporting and promoting argumentation discourse in science education. *Studies in Science Education*, 38, pp. 39-72.
- Erduran, S. & Jiménez-Aleixandre, M. (2008). *Argumentation in Science Education. Perspectives from Classroom-Based Research*. Dordrecht: Springer.
- Halliday, M. (1978). *Language as Social Semiotics*. London: Edward Arnold.
- Hodge, R. & Kress, G. (1989). *Social Semiotics*. Cambridge: Polity Press.
- Jewitt, C.; Kress, G.; Ogborn, J. & Tsatsarelis, Ch. (2001a). *Multimodal teaching and learning*. London: University of London. Institute of Education.
- Jewitt, C; Kress, G.; Ogborn, J. & Tsatsarelis, C. (2001b). Exploring Learning through visual, actional and linguistic communication: the multimodal environment of a science classroom. *Educational Review*, 53(1), pp. 5-18.
- Kress, G.; Ogborn, J.; Jewitt, C. & Tsatsarelis, C. (2000). *The Rhetoric of Science Classroom: a Multimodal Approach*. London: ESRC Institute of Science Education.
- Kress, G.; Jewitt, C.; Ogborn J. & Tsatsarelis, C. (2001). *Multimodal Teaching and Learning: The Rhetoric of the Science Classroom*. New York: Edit. Continuum.
- Kress, G. & Van Leeuwen, T. (2001.). *Reading Images: the grammar of visual design*. London: Routledge.
- Kress, G.; Ogborn J. & Martins I. (1998). A satellite view of language: Some lessons from

- science classrooms. *Language awareness*, 7, pp. 69-89.
- Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós. Trad. obra original en inglés: *Talking Science: Language, learning and values*, 1993.
- Lemke, J. (1998). Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. In Martin J. & Veal R. (eds.), *Reading Science: critical and functional perspectives on scientific discourse*. London: Routledge.
- Lemke, J. (1999). *Teaching All the Languages of Science: Words, Symbols, Images, and Actions*. Disponible en: [http://www-personal.umich.edu/~ja_lemke/papers / barcelon.htm](http://www-personal.umich.edu/~ja_lemke/papers/barcelon.htm); <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/jll-new.htm>
- Lemke, J. (2002). Enseñar todos los lenguajes de la ciencia: palabras, símbolos, imágenes, y acciones. En Benlloch, M. (ed.), *La educación en ciencias*, pp. 159-186. Barcelona: Paidós.
- Martins, I. (1998). Retórica e ensino de Ciências? *Atas do VI EPEF*. Florianópolis, SC.
- Martins, I. & Porto, C. (2001). Onda ou Partícula? Argumentación e Retórica na Aprendizagem da Natureza da Luz. *VII Encuentro de Pesquisas en la Enseñanza de la Física*. Florianópolis, Brasil. <http://www.sbf1.if.usp.br/eventos/epf/vii/programa1.htm>.
- Ogborn, J.; Kress, G.; Martins, I. & McGillicuddy, (2003). *Formas de Explicar. La enseñanza de las ciencias en secundaria*. Madrid: Santillana Aula XXI.
- Perelman, Ch. y Olbrechts-Tyteca, L. (1989). *Tratado de la Argumentación. La Nueva retórica*. Madrid: Gredos. Trad. de la obra original en francés publicada en 1958.
- Prégent, R. (1990). *La preparation d'un cours*. Montreal: Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal.
- Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), pp. 4-14.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform Harvard. *Educational Review*, 57(1), pp. 1-22.
- Stake, R. (1998). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata.
- Turney, J. (2001). More than story-telling. Reflecting on popular science. S. Stocklmeyer, M. Gore & C. Bryant (eds.), *Science communication in theory and practice*, pp. 47-62. Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Wilson, S. M.; Shulman, L. S. & Richert, A. E. (1987). 150 different ways' of knowing: Representation of knowledge in teaching. In J. Calderhead (Ed.), *Exploring teachers' thinking*, pp. 104-124. London: Cassell.