



ANÁLISIS DE LA PRESENTACIÓN Y USO DE UN MODELO MATEMÁTICO EN DIFERENTES CONTEXTOS DE APLICACIÓN EN UNA CLASE DE FÍSICA UNIVERSITARIA.

Funes, Leonardo y Cutrera, Guillermo

FCyN-UNMdP

leofunes@gmail.com, guillecutrera@hotmail.com

Resumen.

Se presenta una investigación sobre el *hacer* de un profesor experimentado de física a partir del estudio y caracterización de sus explicaciones. En particular se enfatiza en la caracterización del modelo utilizado para el estudio o propagación de ondas en diferentes medios. La interacción discursiva se estructura en un formato de clase magistral. El contexto es la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. El acercamiento metodológico es cualitativo. Es un estudio descriptivo e interpretativo de casos. Finalmente se discuten algunas implicaciones para la enseñanza de la física universitaria.

Palabras Clave: Discurso académico; Estrategias argumentativas; Clase magistral; Interacción discursiva; Propagación de ondas

Introducción.

La clase magistral es una modalidad de transmisión de conocimientos. Esta transmisión constituye en sí una forma de comunicación. Ana Cross (2003, pp.43-44), caracteriza la clase magistral como un género discursivo que se produce en el marco de la institución universitaria, donde se otorga una autoridad al enunciador, considerado experto, que se sitúa en un estatus superior al del destinatario, lo cual permite que gestione el discurso y que imponga unas normas aceptadas por los estudiantes (Goffman, 1981).



Prégent (1990), distinguen en tres a los métodos de enseñanza universitaria más frecuentes. la exposición magistral, la discusión o trabajo en grupo y el aprendizaje individual. Con relación al primero, diferencia dos tipos de exposiciones magistrales: las exposiciones formales como la conferencia, sin intervención del público, y las exposiciones menos formales, como la clase magistral universitaria. El nivel de formalidad de esta última depende de los profesores y también de la temática, pero en ella se permite (e incluso se fomenta) la intervención de los alumnos. En este sentido, puesto que en la clase magistral el profesor detenta la palabra, se trata de un discurso monogestionado; con todo, los estudiantes pueden participar en momentos diferentes e interrumpir las explicaciones del profesor para formular preguntas y comentarios.

Sin embargo, la autoridad intelectual atribuida a los profesores en el contexto de una clase magistral no asegura el éxito de su discurso; depende, entre otros aspectos, de su capacidad para conseguir una buena disposición de los oyentes hacia su persona y hacia la disciplina que imparten. En este contexto es interesante recuperar una componente destacada del conocimiento del profesor que es la parte que se ha llamado “conocimiento didáctico del contenido” (Shulman, 1986, 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.

Consideramos a la enseñanza durante una clase de Física como un proceso socialmente compartido por los participantes que incluye la reelaboración de unos significados científicos que han de resultar convincentes a la comunidad. En este contexto, la explicación del profesor, articula el lenguaje oral y escrito, además de diversos recursos como gestos, ecuaciones matemáticas, gráficos, dibujos, tablas y demostraciones, con el fin de contribuir a que los estudiantes *vean* e interpreten el mundo según los significados científicos que se van construyendo. En este contexto, el propósito de este trabajo está centrado en analizar cómo el profesor, a través de sus interacciones discursivas con los estudiantes, vehiculiza el modelo científico a partir del cual analiza diferentes sistemas físicos.



Metodología.

La clase analizada corresponde a la materia Física III correspondiente a la carrera del Profesorado y Licenciatura en Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata. Es la segunda de una secuencia de tres clases durante las cuales el profesor desarrolla el tema Ondas Mecánicas. La metodología en este trabajo fue de carácter cualitativo. Para sus análisis la clase fue dividida en episodios, siendo el cambio en la temática abordada el criterio utilizado para la delimitación de los mismos. A continuación mostramos la extensión de cada uno de los episodios así como también una síntesis de cada uno de ellos:

Número de episodio ⁱ	Descripción del episodio
Episodio 1. (21 min) (1-193)	Comienzo de la clase con repaso de lo visto en la clase anterior (Patrón temático: ondas en medios materiales y ondas en gases). El profesor desarrolla rápidamente los contenidos abordados durante la clase anterior, no solamente colocando las ecuaciones obtenidas, sino repitiendo algunos desarrollos matemáticos para recuperar resultados ya obtenidos. Durante el repaso, el profesor explica conceptos nuevos haciendo explícito tal situación a partir de la línea 66 mediante la frase “esto no se los dije la clase pasada”. Considera hacerlo en este episodio ya que los conceptos corresponden a un patrón temático desarrollado en la clase anterior y podría considerarse como un anexo de la misma.
Episodio 2. (1:55 min) (194-198)	Introducción de la clase del día. El docente enumera los tres patrones temáticos cuyos modelos se dispone a explicar durante la clase.
Episodio 3. (7:30 min) (199- 258)	Explicación del patrón temático: ondas en una cuerda tensa. Comienza el desarrollo indicando que utilizarán conceptos vistos en la clase pasada (líneas 199-200). Recupera en este episodio un modelo (cilindros infinitesimales) para explicar el movimiento de cada punto material de una cuerda al propagarse una onda transversal. Este modelo ya fue trabajado durante la clase anterior. Posteriormente calcula la velocidad de propagación de las ondas en la cuerda y utiliza el ejemplo de las cuerdas de una guitarra como un objeto de uso cotidiano para que los alumnos puedan ver los efectos de los parámetros involucrados en la velocidad calculada.
Episodio 4. (37:31 min)	Explicación del patrón temático: Ondas en la superficie del agua. El objetivo de este episodio es calcular la velocidad de propagación de las ondas en la superficie del agua (No lo enuncia pero los cálculos realizados sirven para cualquier



	líquido). Presenta la formalización matemática y finalmente considera casos límites para analizar comportamiento de casos especiales.
Episodio 5. (24:39 min)	Explicación del patrón temático: Energía de una onda. Utilizando un modelo elástico el docente calcula las energías cinética y potencial de acuerdo a las ecuaciones de onda de desplazamiento. Luego introduce la energía media total y define la intensidad y potencia transmitida por una onda. Para finalizar define la unidad decibel y el profesor indica la utilidad de esta definición en el ámbito médico.
Episodio 6. (1:20 min)	Finalización de la clase. Aquí el profesor invita a los alumnos a realizar consultas. Se establece un breve diálogo entre alumnos y profesor acerca de una pregunta específica. El dialogo termina con la invitación del profesor a pasar por su oficina en caso de surgir dudas fuera del horario de clase.

La clase fue grabada en audio. El análisis se realizó a partir de su desgrabación y a partir de uno de los alumnos. La desgrabación fue trabajada a partir de la numeración de los turnos en el habla -asignando numeraciones sucesivas a las líneas-. Exceptuando el último de los episodios, el modelo fue trabajado en cada uno de los restantes. En este trabajo nos centramos en el análisis que el profesor realiza para la propagación de ondas en un gas y en una cuerda tensa. En este sentido, consideraremos a los episodios en tanto aporten a la presentación verbal del modelo por parte del profesor. En el contexto de un enfoque interpretativo, el análisis de los datos permitió inferir variables propias del contexto discursivo: *tipo de dimensión en la lectura del modelo* –con las categorías: simbólica-matemática y epistémica-; *propiedades físicas atribuidas al modelo simbólico-matemático* –categorías: tipo de esfuerzos, tipo de ondas, tipo de desplazamiento-; *referencia empírica del modelo* –con las categorías de ausencia y presencia-.

Análisis de las intervenciones discursivas del profesor

Durante la clase analizada, que tiene una estructura de clase magistral con diálogos aislados, el profesor hace referencia a un modelo ondulatorio para obtener la ecuación de onda y su velocidad cuando se propaga en diferentes materiales.



En el inicio de la clase, el profesor recupera el modelo que, durante la clase anterior, había propuesto para trabajar “Ondas en medios materiales” y “Ondas en gases”:

6“...pedacito de material que tomábamos como testigo para observar

7 cuando pasaba la onda”

9“Uno aplica fuerza igual a masa por aceleración

10 sobre el cilindrito testigo”

22“...el cilindrito se mueve y vuelve a su posición original una vez que pasó

23 la onda”

Durante la exposición, el profesor indica que el modelo consiste en una porción testigo del material (líneas 6 y 7) al cual se aplica la Segunda Ley de Newton a partir de las fuerzas que actúan sobre el cilindro infinitesimal (líneas 9 y 10). El cilindro infinitesimal constituye el punto material del medio que se desplaza y vuelve a su posición anterior luego de ser perturbado por la onda viajera. (líneas 22 y 23). Las características pueden resumirse en las siguientes relaciones semánticas:

El cilindro infinitesimal [es una porción testigo del] material

Las Leyes de Newton [se aplican al] cilindro testigo

El cilindro [puede desplazarse de su] posición original

El cilindro [vuelve a su] posición original [una vez que pasa] la onda

El cilindro es sometido a fuerzas y, aplicando leyes clásicas de movimiento, como las Leyes de Newton, el profesor obtiene las relaciones que predicen la posibilidad de propagación de ondas y sus propiedades en función de las características del medio correspondiente.

Posteriormente, cuando comienza a hablar de ondas en gases, también considera el modelo de pequeñas porciones de gas en forma de cilindros:

26“...uno, cuando piensa el tubo de

27 gases dividido en cilindritos, cada cilindrito uno lo piensa que puede deformarse

28 en el sentido de que es un sólido que lo tensionan...

29 y que es elástico digamos. El aire como que no es elástico pero

30 de todos modos aparece una relación de elasticidad”



En estas intervenciones, el docente propone una ampliación del modelo trabajado en un doble sentido. En primer término, a través de una referencia explícita al estatus ontológico del modelo (líneas 29 y 30). Es interesante destacar esta caracterización, por un lado, porque es la única referencia que trabaja el docente durante la clase en este nivel al que llamaremos *epistémico*. Por otro, en tanto nos interesa a efecto del análisis distinguir esta intervención de las restantes por medio de las cuales el profesor caracteriza el modelo y que pertenecen a un nivel de caracterización que denominaremos *simbólico*. En efecto, y en segundo término, la intervención anterior proporciona nuevos aportes a la caracterización del modelo en este último nivel, ubicando a estos aportes en un contexto de aplicación: ondas en gases. Estas nuevas características pueden resumirse en las siguientes relaciones semánticas:

El cilindro infinitesimal [se considera como un] sólido elástico

El cilindro infinitesimal [puede] deformarse

El gas [es considerado como un conjunto de] cilindros elásticos deformables

En este caso, incluso habiendo delimitado el modelo, no hay mención explícita indicando la ausencia de fuerzas transversales a la dirección de movimiento de las ondas en los gases, lo cual implica que solo las ondas longitudinales son posibles. Es una característica que quizá fue explicada en una clase anterior. Solamente se observa alusión a esto cuando refiere a una perspectiva matemática del modelo indicando que los esfuerzos que sufre el cilindro corresponden a fuerzas aplicadas en sus áreas transversales, o sea fuerzas en la dirección longitudinal del cilindro:

31 “las presiones... apuntan a esfuerzos normales o sea menos el ΔP ,

32 que sería el P menos el P_0 , es el esfuerzo que deforma el cilindrito”

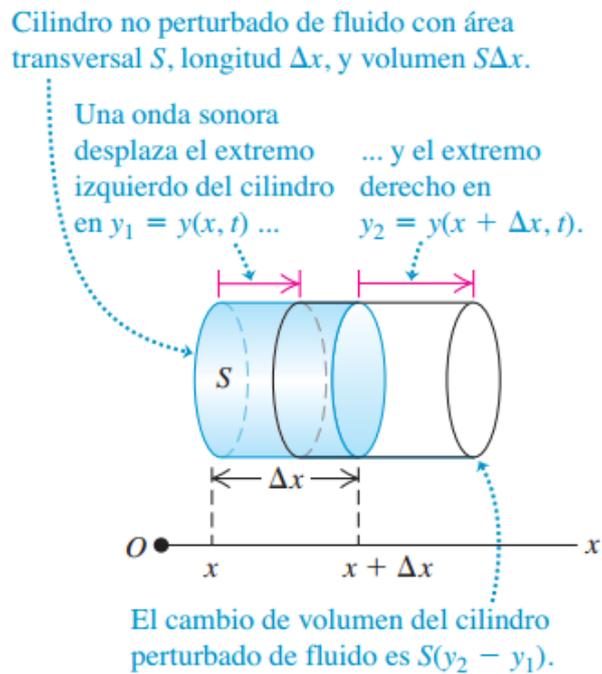
Cabe destacar que cuando refiere a una perspectiva matemática del modelo, el profesor no utiliza un discurso narrativo para referirse al contenido, habla por ejemplo de ΔP y P_0 en vez de diferencia de presión y presión inicial respectivamente (Líneas 31 y 32).



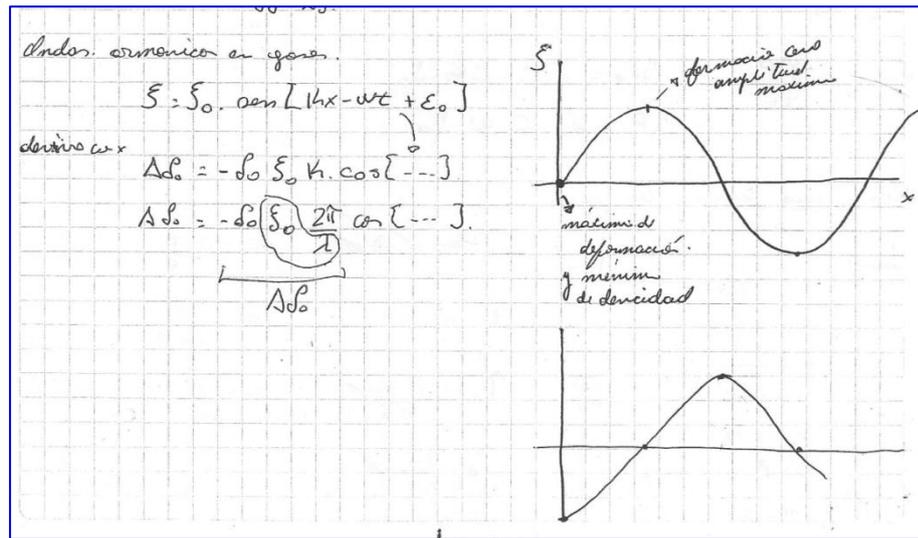
Podríamos así agregar esta característica del modelo contextualizado al caso de gases:

El cilindro infinitesimal [no es afectado por] esfuerzos transversales [a la dirección de propagación de] la onda

Una representación simbólica del modelo utilizado por el profesor puede verse en el siguiente gráfico (Sears-Zemansky, 2009, p. 528).



A efecto de interpretar lo que sucede con el cilindro infinitesimal en diferentes posiciones del medio cuando se propaga la onda, el profesor utiliza una representación simbólica mediante gráficas de desplazamiento y densidad:



Inferimos aquí una perspectiva matemática del modelo, con el objeto de ayudar a los alumnos a comprender el efecto de la onda que se propaga en un gas. El profesor señala diferentes zonas de las gráficas y explica el estado de cada punto material del medio:

92 "...un mínimo... esto significa una máxima

93 deformación del cilindro estirado, el cilindro original es así, el cilindro estirado

94 estará así... lo que vemos es que al estirar el cilindro, la velocidad del

95 cilindro baja, el modulo es pequeño, más pequeño o sea que por eso el $\Delta \rho$ es

96 negativo acá, parte de un máximo negativo, un coseno de θ , que da menos uno."

97 "Acá, en este punto..."

98 Alumno: "Profesor, entonces tenemos ahí máxima deformación y mínimo de densidad?"

99 "Sería un mínimo de densidad o... no es un mínimo en sí, es decir, la densidad es

100 proporcional a este máximo, a esta cosa que es máxima, pero es mínimo porque

101 aparece un desfase que es menor pero básicamente, físicamente por qué es

102 mínimo es porque es la máxima deformación positiva cuando el cilindro está

103 estirado, y entonces aumenta su volumen...”

104 Alumno: “Aumenta la densidad” (Aquí la voz del alumno superponiéndose a la voz del profesor de la siguiente línea)

106 “... a la misma masa y disminuye la densidad, entonces por eso es un mínimo de densidad.”

112 “Fíjense que cuando la deformación es cero, la

113 amplitud es máxima, es decir cuando el cilindro está desplazado al máximo, es

114 cuando tiene deformación cero, ¿sí? En este caso, la densidad es un cero, es decir

115 el cilindro no está deformado y el $\Delta\rho$ vale cero, vale la densidad antes que se

116 propagara la onda. Luego acá nuevamente vale otro máximo, en este

117 caso la deformación es negativa, o sea está comprimido el cilindro, y entonces

118 ha aumentado la densidad...”

121 “Hay una situación donde tengo el cilindro

122 muy estirado, y donde la densidad es lo más baja posible. Máxima deformación

123 y cilindro muy estirado. Cero deformación donde la amplitud es máxima y tengo

124 un cero... el cilindro no está deformado en este punto, el $\Delta\rho$ vale cero. Acá otra

125 vez tengo máxima deformación pero negativa en este caso, o sea el cilindro está

126 comprimido, por eso tengo un máximo de densidad y acá vuelvo a tener en este

127 caso un mínimo de deformación... también la derivada da cero de deformación y



128 tengo un máximo desplazamiento en la otra dirección del cilindrito, que se

129 corresponde con otro cero de densidad porque no está deformado.”

Durante la explicación que el profesor expone con las gráficas de desplazamiento y densidad se produce un dialogo breve a partir de una interrupción que un alumno hace durante su exposición (Líneas 97 a 106). Aquí el alumno muestra cierta dificultad para comprender los datos de las gráficas. El profesor vuelve sobre sus pasos e intenta que el alumno pueda observar en los gráficos lo que sucede con el cilindro infinitesimal. Aquí probablemente, junto con las representaciones simbólicas de desplazamiento y densidad, podría agregarse un modelo de partículas que muestre el comportamiento del gas en cada punto de acuerdo a los valores de las gráficas. Quizá también, sería más útil utilizar gráficas de presión en vez de densidad, ya que posteriormente en la exposición, el profesor indica la necesidad y preferencia de escribir las ondas en gases en términos de presión en vez de densidad:

140 “... bueno, entonces, necesito hacer un calculito que voy a usar más adelante,

141 que es poner las cosas en términos de amplitudes de presión, la onda.
¿Por qué?

142 Porque si uno tiene que medir algo, lo más fácil de medir es la amplitud de presión,

143 “...pueden medir

144 fácilmente la presión conectándolo a algo eléctrico sin ningún problema, mientras

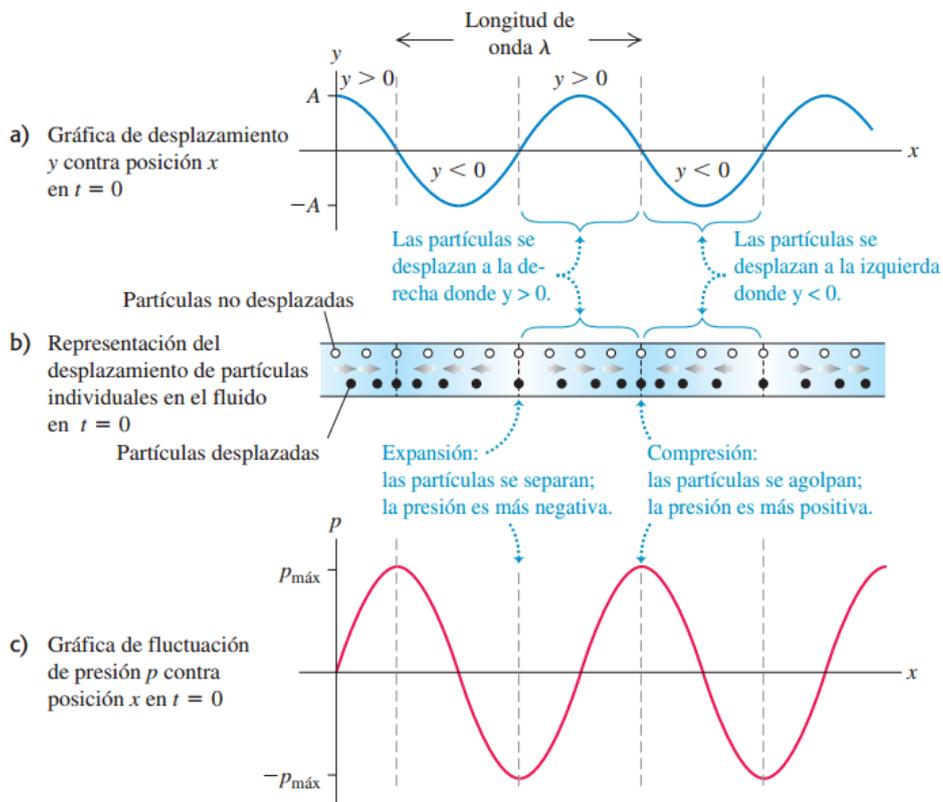
145 que las densidades no, la densidad cuesta mucho medirla”

146 “Así que... por eso escribo las cosas en

147 términos de la presión.”



El esquema que proponemos para aclarar la comprensión del alumno es el siguiente (Sears-Zemansky, 2009, pp.529):



En el gráfico anterior pueden observarse partículas *blancas* que corresponden al gas cuando no hay onda propagándose y partículas *negras* que muestran cómo se han desplazado de sus posiciones debido a la fluctuación producida por la onda de acuerdo a las gráficas superior e inferior que corresponden a un tiempo fijo. En medio de ellas se observan flechas que indican la dirección de movimiento de las partículas al desplazarse en ese tiempo fijo. Este esquema podría funcionar como un referente empírico que mejore la explicación y ayude cognitivamente a los alumnos a relacionar los valores simbólicos de las gráficas con el comportamiento de las partículas del gas, representadas por los cilindros infinitesimales del modelo.

En el episodio 3 de la clase, el profesor comienza con la explicación de otro patrón temático: ondas en una cuerda tensa. Para obtener la velocidad de ondas en una cuerda utiliza el mismo modelo de cilindros infinitesimales de largo Δx despreciando su área transversal, ya que por simplicidad se considera que la cuerda solo tiene una dimensión. Esta delimitación del modelo no es explicitada como una necesidad o como



una condición a priori por el profesor, aparece cuando al finalizar los cálculos utiliza una densidad lineal de masa en vez de una densidad volumétrica:

221 “Por lo tanto, cerramos que las ondas entonces, la velocidad de las ondas se tiene

222 que es T sobre ρ ... el ρ_0 del material... bueno, acá esto

223 no...porque es en una sola dimensión. Porque es un medio sólido digamos, no

224 un gas.”

225 “...si la

226 constante de linealidad es F sobre ΔS , me quedaría F sobre ΔS por ρ , donde esto es

227 una densidad lineal de masa ¿no?”

228 “...acá me queda el Δm sobre Δx , la masa por unidad de longitud, que es μ .”

Durante el desarrollo, el profesor recurre nuevamente al modelo de cilindros para calcular la velocidad de la onda en la cuerda. A diferencia del caso del gas, considera que es una onda transversal la que se propaga por una cuerda. Los esfuerzos que sufre cada cilindro infinitesimal son esfuerzos transversales a la cuerda, esto es, transversales a la dirección de propagación de la onda:

202 “el claro ejemplo es el de una guitarra... y bueno, necesitamos la cuerda que

203 pulsamos como en una guitarra en forma transversal, o sea la excitamos en forma

204 transversal... entonces si la dividimos en cilindritos como antes, vamos a

205 tener un cilindrito antes que pasa la onda en esta posición y cuando pasa el

206 cilindrito otra vez es desviado, es torcido, de modo tal que... esto es el

207 desplazamiento ξ y está torcido una cantidad ϕ que es la deformación unitaria.”



210 "...la fuerza que levanta el cilindrito es la componente

211 perpendicular a la propagación de la onda. ¿Si? La onda está actuando en dirección

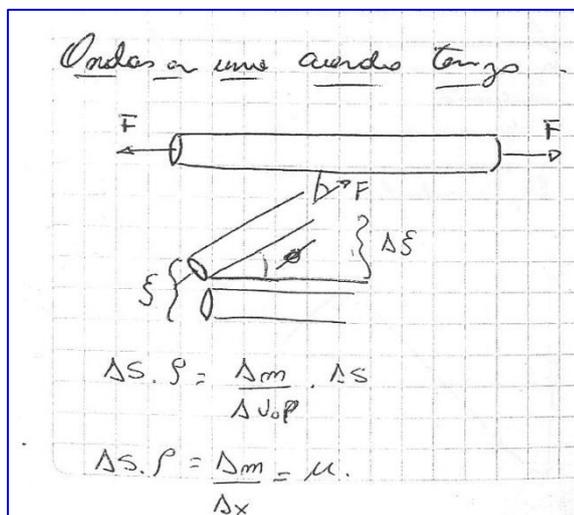
212 de la cuerda, pero lo que levanta el cilindrito es la fuerza en esta dirección."

215 "Bueno este es el esfuerzo. El esfuerzo transversal (τ_t) sería $F \sin \phi$ sobre la

216 sección de la cuerda..."

En estas intervenciones, el docente propone una delimitación del modelo a un nivel epistémico indicando que es torcido en el contexto de una cuerda tensa en vez de deformado como en el caso de los gases (Líneas 205 a 207), a un nivel simbólico haciendo referencia a los parámetros del efecto de la onda en la cuerda (Líneas 207 y 215) y utilizando un referente empírico, en este caso las cuerdas de una guitarra, lo cual no se observa para el caso de ondas en gases (Líneas 202 y 203).

En el siguiente gráfico puede observarse el modelo simbólico que utiliza el profesor:

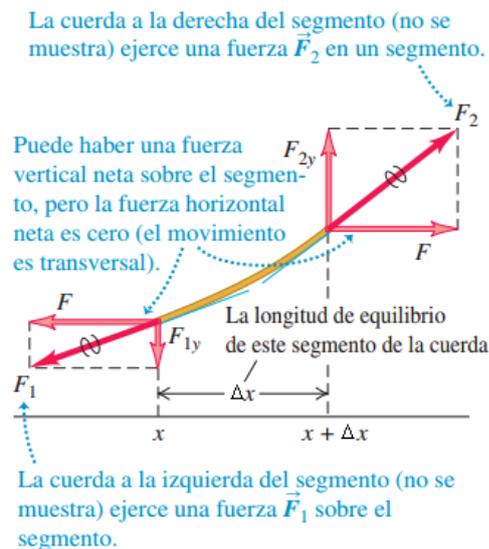


Podríamos así agregar esta característica del modelo contextualizado al caso de la cuerda tensa:

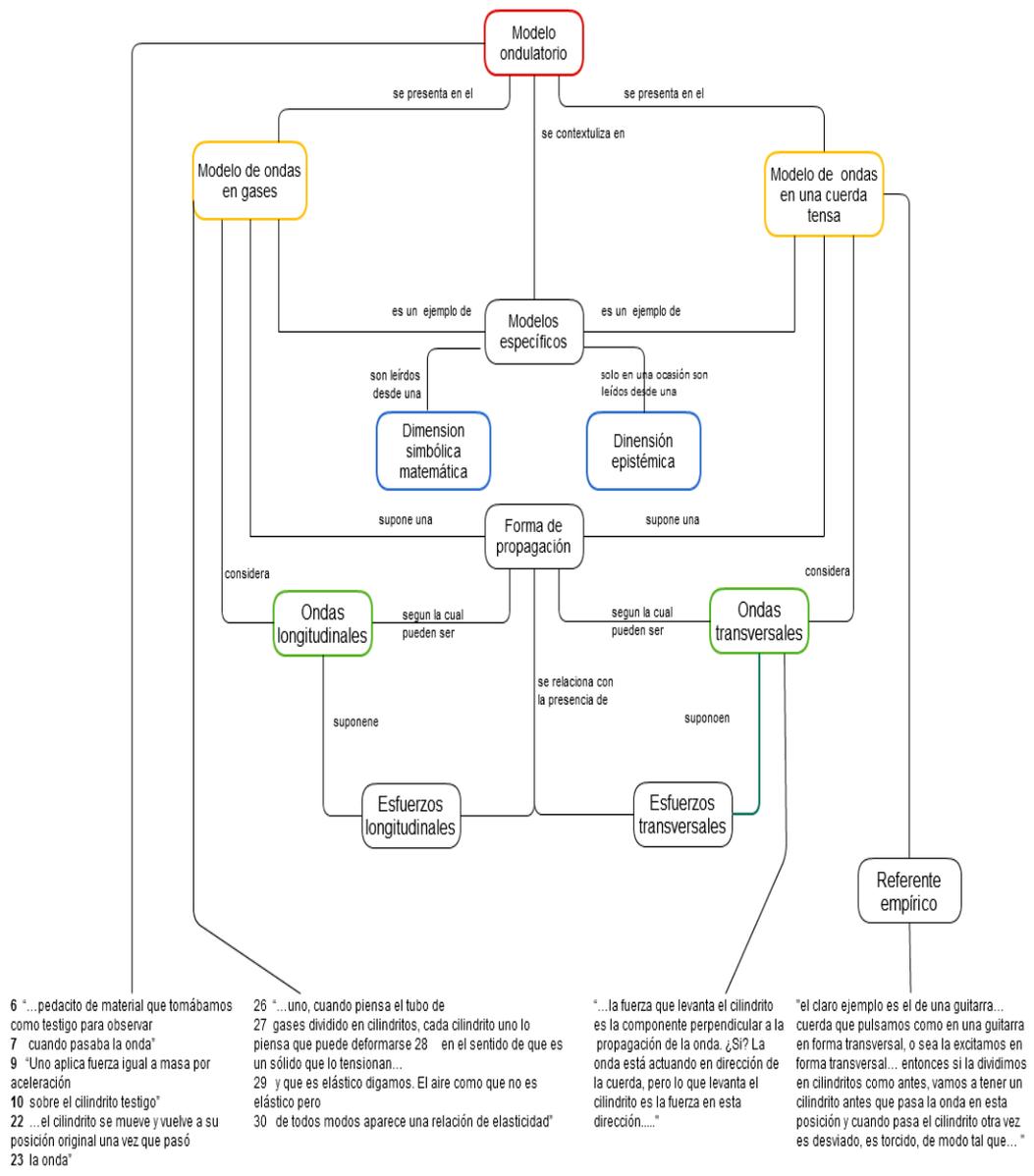
El cilindro infinitesimal [es afectado por] esfuerzos transversales [a la dirección de propagación de] la onda

El cilindro infinitesimal [es considerado como una línea de] masa homogénea [en] una dimensión

Durante la exposición, el profesor señala que el cilindro es torcido debido a la componente transversal a la dirección de la cuerda de las fuerzas que actúan sobre él (Líneas 210 a 212). En su modelo simbólico no se observa esto en forma explícita. Quizá sería conveniente para que los alumnos comprendan mejor la situación planteada, acompañar su monólogo con un gráfico más completo, como el siguiente (Sears-Zemansky, 2009, p.500):



Finalmente, sintetizamos los aspectos centrales del análisis realizado en el siguiente esquema:



Consideraciones finales

Las diferencias en el modelo para los diferentes contextos de su aplicación deben ser inferidas por los estudiantes a partir del lenguaje simbólico matemático que el docente privilegia en su exposición. Posiblemente la introducción de un modelo que reúna características comunes a los presentados en los diferentes contextos podría constituirse en un incluso, en el sentido ausubeliano, que permitiría ser utilizado como referente en la comparación con aquellos modelos que resultan de su especialización en diferentes contextos. Esta comparación permitiría enriquecer la construcción de los patrones semánticos de cada uno de estos modelos. Por otra parte, la estrategia discursiva centrada en la diferenciación entre un modelo general y otros específicos o contextuales, lleva a la necesidad de especificar si las notas distintivas que comparten



unos y otros permiten referir a mismo modelo. Sería interesante presentar esta discusión en el contexto de una dimensión epistémica que enriqueciera la lectura del contenido. También, esta mirada en diferentes niveles, podría ser acompañada por formas adicionales de *decir* el modelo a partir de la consideración de lenguajes alternativos al formalizado; por ejemplo, referimos al lenguaje correspondiente al nivel corpuscular como se indicara oportunamente. Se trataría, entonces, de favorecer la construcción de relaciones semánticas desde miradas complementarias y alternativas a la sintáctica proporcionada por los modelos simbólico-matemáticos; procurar que estas relaciones constitutivas del patrón temático no queden reducidas a ser inferidas por los estudiantes a partir de relaciones sintácticas. Este trabajo pretende ofrecer indicios para el comienzo de una indagación centrada en la caracterización y análisis de las estrategias discursivas frecuentemente utilizadas por los profesores en las aulas de física universitaria. Se inscribe en la importancia que, consideramos, poseen las clases expositivas en la formación universitaria en física y los aportes que, desde la didáctica disciplinar pueden realizarse a las mismas. También, en la relevancia que los aportes de estos análisis tendrían al momento de abordar la formación didáctica de los profesores universitarios de ciencias.

Referencias bibliográficas

- Campanario, J. M. (2002). Asalto al castillo:¿ A qué esperamos para abordar en serio la formación didáctica de los profesores universitarios de ciencias? *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*. 20(2), 315-326.
- Cross, A. (1996).La clase magistral .Aspectos discursivos y utilidad didáctica. *Signos. Teoría y práctica de la educación*, 17, 22-29. ISSN: 1131-8600
- Cross, A. (2003). *Convencer en Clase: Argumentación y Discurso Docente*. Barcelona. Ariel Lingüística.
- Goffman, E. (1981). *Forms of talk*. Londres: Basil Blackwell.
- Sears-Zemansky (2009). *Física Universitaria*. Decimosegunda edición. Vol.1. Pearson educación México: Adison-Wesley.
- Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*. 15(2), 4-14.



Shulman, L. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform
Harvard.Educational Review, 57(1), 1-22.

ⁱ En el primer paréntesis se indica la extensión temporal de cada episodio; en el segundo, las líneas transcritas que corresponden a cada uno. Los números de líneas se aclaran para aquellos episodios analizados en el trabajo.