

Hablar ciencia: si no lo puedo explicar, no lo entiendo

María Jesús Martín-Díaz

IES Jorge Manrique, Tres Cantos (Madrid). E-mail: mariajesus.martin@gmail.com

[Recibido en enero de 2013, aceptado en mayo de 2013]

Para que los alumnos aprendan ciencia y sepan utilizar sus conocimientos científicos en distintos contextos y situaciones, es decir, sean competentes científicamente, es absolutamente imprescindible que “hablen y escriban” ciencia. Del mismo modo que para ser competente en un idioma es necesario hablarlo, para aprender ciencia, es necesario “hablarla”. Mostrar esta necesidad es el objetivo de este artículo. En primer lugar se esboza una fundamentación teórica sobre la importancia del lenguaje como estructurador del pensamiento, que está basada en el modelo del patrón temático de Lemke. A continuación, se muestran estrategias para impulsar en las aulas que los alumnos “hablen ciencia”. Estas estrategias son sencillas y fáciles de llevar a cabo, solo requieren un cambio de enfoque de las actividades que realizamos normalmente los profesores en las aulas.

Palabras clave: lenguaje; patrón temático; estrategias didácticas; competencia científica.

Talking science: if I can not explain, do not understand

For students to learn science and know how to use scientific knowledge in different contexts and situations, that is, to be competent in science, it is absolutely crucial to "talk and write science". As it is necessary to speak a language to be competent in it, to learn science it is necessary "to talk science". The aim of this article is to point out that necessity. First, a theoretical foundation about the importance of language as a thought builder is outlined, based on Lemke thematic pattern. Then, strategies to make students "speak science" in class are shown. Those strategies are simple and easy to implement: a change of our usually undertaken activities viewpoint is all that is required.

Keywords: language; thematic pattern; didactic strategies; scientific competence

Introducción

Una buena manera de reflexionar es hacerse preguntas. En el tema que nos ocupa, sobre la importancia del lenguaje en el aprendizaje, las cuestiones podrían ser: ¿Qué significa hablar?, o ¿qué funciones cumple el lenguaje? La primera respuesta que surge es: comunicarnos con los demás, bien sea oralmente o a través del papel, es decir, hablar sirve para intercambiar nuestros pensamientos, nuestras ideas con las personas de nuestro entorno. Aunque esta función es fundamental no es la única, ya que el lenguaje, o sea hablar o escribir, sirve para estructurar, “darle forma” a nuestro pensamiento. Y esta función es anterior o casi simultánea a la comunicación, ya que para comunicarnos hemos debido organizar nuestros pensamientos. ¡Cuántas veces no hemos oído que una buena manera de poner en orden nuestras ideas ante cualquier situación, de comprender lo que nos está ocurriendo, es transcribir en un papel las ideas, sentimientos y emociones, es decir, comunicarnos con nosotros mismos!

Consecuentemente el hablar y el escribir son fundamentales en el aprendizaje, constituyen una manera de poner orden en nuestros conocimientos (ideas, conceptos, modelos, teorías), de darles sentido y relacionarlos. Por ello no deja de sorprendernos que en las clases de ciencias, las exigencias con el lenguaje vayan disminuyendo. ¿Y por qué decimos esto? Porque si revisamos actividades o exámenes de los alumnos sus respuestas son magras, exiguas, con muy pocas frases explicativas, con monosílabos como respuesta, con frases incompletas. Ello va en contra de la idea que queremos transmitir en este artículo: los alumnos para aprender ciencia tienen que “hablar y escribir ciencia”¹, tienen que verbalizar lo que han aprendido bien o mal.

¹A partir de aquí, hablar ciencia aparece sin comillas.

Los profesores somos conscientes, porque todos lo hemos experimentado, de que nuestra mejor herramienta en nuestro propio aprendizaje es la explicación en el aula. Como ejemplo, sirva la célebre anécdota del buen profesor reconocido por todos, además de gran científico galardonado con el Premio Nobel de Física, Richard Feynman. Él mismo cuenta que al terminar una explicación de mecánica cuántica en la universidad preguntó a sus alumnos si le habían entendido. Éstos respondieron que no y volvió a explicarlo. Ante una segunda y tercera negativas por parte de los alumnos, volvió a repetir la tarea. Y al terminar su última explicación se dijo: “Entonces lo entendí yo” (Feynman, 1987). Tenemos la obligación los profesores de ofrecer espacios para que los alumnos hablen y escriban sobre sus conocimientos, si pretendemos que vayan comprendiendo el mundo de la ciencia. Un buen resumen de estas ideas aparece en la frase atribuida a Einstein: “*No entiendes realmente algo a menos que seas capaz de explicárselo a tu abuela.*”

Siguiendo con Einstein, nos gustaría reseñar otra frase suya: “*Si no puedo dibujarlo, es que no lo entiendo.*”, porque nos ofrece oportunidades para hablar de otro lenguaje, el lenguaje gráfico. Este lenguaje es otra forma de dar luz a nuestros pensamientos, a nuestros conocimientos. Hay que pedirles a los alumnos que plasmen el enunciado de los ejercicios en un dibujo. En muchas ocasiones nos daremos cuenta de que no son capaces de hacerlo. Si después de haberles enseñado y tener una cierta práctica, no saben representar mediante un dibujo el enunciado de un problema es porque realmente no entienden dicho enunciado. Mucho se escribió hace décadas sobre la comprensión de dichos enunciados (Kempa, y Nicholls, 1983; Kempa 1986). Ayudemos a los alumnos a comprenderlos, hagámosles dibujar.

No obstante, es difícil que los alumnos sean capaces de verbalizar o dibujar lo que han aprendido oyendo una explicación o disertación de un tema por primera vez. Es necesario que se enfrenten a tareas individualmente o en grupo para que empiecen a entrever los entresijos de lo que se les acaba de exponer, y en ese entrever es necesario el lenguaje, escrito si la tarea es individual, hablado si se realiza en pequeño grupo. Edelman y Tononi (2002), cuando tratan de describir la conciencia en términos científicos señalan: “*Primero hacer y después comprender*”, que podríamos ampliar diciendo: “Hablar y escribir, para ir comprendiendo”. Por esta razón, puede ser muy útil enfrentarles a actividades en pequeño grupo para que expresen sus ideas antes de cualquier explicación previa, para que vayan materializando éstas mediante el lenguaje, siempre y cuando los alumnos tengan un cierto conocimiento al respecto, bien por asignaturas de cursos anteriores, bien por el aprendizaje popular, cotidiano de fuentes diversas, como medios de comunicación, opiniones de personas cercanas, ... No es lo mismo que los alumnos tengan que realizar, sin ningún tipo de introducción previa, una actividad sobre orbitales atómicos que sobre el cáncer. En ambos casos pueden tener concepciones previas, en el primer caso, provenientes del estudio académico de cursos anteriores y en el segundo de lo que hemos llamado aprendizaje popular; pero muy probablemente, las segundas están más enraizadas y se expresan con una mayor libertad y seguridad. En estas actividades, la ciencia ficción puede ser una herramienta de gran ayuda (Bacas et al., 1993; Gómez Crespo et al., 2008) porque permite que los alumnos se expresen con más libertad, fuera del encorsetamiento de las actividades académicas y, por tanto, sea más fácil detectar su grado de comprensión de los conceptos científicos implicados.

Hasta aquí, no hemos querido más que resaltar la importancia del lenguaje como vehículo fundamental del aprendizaje significativo, por lo que tras las ideas expuestas se encuentran el constructivismo y las estrategias de enseñanza basadas en el mismo que están presentes en la literatura. Nuestro énfasis está puesto en la necesidad de que los alumnos hablen y escriban ciencia para aprender ciencia. Tenemos que darles el protagonismo, y potenciar los diálogos entre alumnos y entre alumnos y profesor. Mitchell (2010) señala que estos diálogos

constituyen el punto central de la calidad del aprendizaje y que las estrategias utilizadas por los profesores para implementarlos en el aula determinan la calidad y eficacia de dichos diálogos.

Hablar y escribir ciencia

Sin entrar en grandes consideraciones lingüísticas, el lenguaje está formado por términos, que encierran conceptos, unidos por un conjunto de “ligandos” según unas leyes, con la finalidad de construir oraciones o frases con sentido. Según Chomsky (1957), el lenguaje es un conjunto finito o infinito de oraciones, cada una de las cuales posee una extensión finita y construida a partir de un conjunto finito de elementos.

Análogamente, en el caso de las ciencias experimentales, podemos decir que el lenguaje está constituido por un vocabulario específico que encierra conceptos de una cierta complejidad y por una unión entre dichos conceptos, que es lo llamado por Lemke (1997) el patrón temático. Por lo que hablar ciencia, supone aprender:

- Un nuevo vocabulario: nuevas palabras, como mol, ribosoma, potencial eléctrico, epicentro ...
- Una nueva semántica: construcción de significados (frases, párrafos, ...) con los nuevos términos en distintos contextos, el patrón temático.

La importancia de ese patrón temático es enorme, ya que el lenguaje científico no es una lista de términos técnicos, ni siquiera de definiciones, sino que es el uso de esos términos relacionados en una amplia variedad de contextos. Y es justamente en la elaboración de ese patrón temático donde nuestros alumnos encuentran las mayores dificultades.

Veámoslo con algunos ejemplos. Empezamos dando unas series de términos relacionados entre sí:

- a. Masa molar, volumen molar, gas ideal.
- b. Punto de ebullición, sustancia pura, mezcla, presión.
- c. Fuerza, velocidad, aceleración.

Con los términos de cada serie podemos formar frases distintas del lenguaje científico, como:

- Los gases ideales, en las mismas condiciones de presión y temperatura, tienen el mismo volumen molar, pero distinta masa molar.
- El volumen molar de distintos gases ideales es el mismo porque existe el mismo número de partículas, aunque como las partículas son distintas, la masa molar es diferente.
- El punto de ebullición a una determinada presión de una sustancia pura es constante, pero no así el de una mezcla.
- Sin fuerza neta sobre él, un móvil puede tener velocidad, pero no aceleración.

Y muchas otras. Es una buena práctica para los alumnos darles varios términos y pedirles que construyan frases. Es una buena manera de medir su grado de comprensión y de aprendizaje.

Pero además en las propias definiciones de los conceptos los alumnos deben usar un patrón temático. Y encuentran muchas dificultades; veámoslo en algunos ejemplos tomados de respuestas de alumnos de primer curso de bachillerato (17 años) a exámenes de Ciencias del Mundo Contemporáneo, en el curso 2010-2011:

- Un gen es un trozo de ADN que codifica con una proteína.
- Un gen es una proteína que va a marcar como somos.
- Un gen es un segmento de ADN que se encarga de la síntesis de una proteína bajo las órdenes que le proporciona el ADN.
- La información genética se transmite a una secuencia de bases nitrogenadas.
- El coltán es una sustancia que se obtiene de niobio y de tántalo.

Un análisis de estas frases parece indicar que los alumnos conocen los términos que deben utilizar, pero el patrón temático (la frase) que elaboran carece de sentido, claro indicador de que su aprendizaje no es significativo para ellos mismos.

Para aprender ciencia los alumnos deben, en primer lugar, memorizar términos nuevos; después comprender el concepto que encierran esos nombres; en tercer lugar, elaborar el patrón temático entre varios conceptos, es decir, formar frases con sentido; y finalmente, extrapolarlo y utilizarlo en contextos diferentes. En el resultado de todo este proceso, hay que tener en cuenta que *cuando las palabras se combinan, el significado del todo es mayor que la suma de las partes por separado* (Lemke, 1997), y que una vez logrado el patrón temático, éste se repite continuamente en el diálogo científico en distintos contextos. Y a medida que se repite verbalmente se va logrando una comprensión del mismo en mayor extensión y en mayor profundidad. El proceso comprende varias fases, que lógicamente necesitan un tiempo para llevarse a cabo, distinto en los diferentes alumnos; pero que en cualquier caso hacen que un buen aprendizaje sea lento: los alumnos necesitan tiempo para culminar con un cierto éxito este proceso.

Los factores que influyen en el aprender a hablar ciencia son:

- Los propios contenidos, es decir, la dificultad de los términos (conceptos) y del patrón temático o de las relaciones semánticas entre ellos.
- Las formas de interacción en el aula, es decir, los modos en que se establecen las relaciones entre profesor y alumnos. Éstas a su vez dependen de la estructura de la actividad y de las estrategias de desarrollo temático (Lemke, 1997). Y en ellas es donde realmente los profesores podemos influir.

Según Lemke (1997), la estructura de las actividades hace referencia al monólogo o diálogo que establece el profesor con los alumnos. El diálogo puede ser de diferentes tipos: triádico (el más utilizado que consta de pregunta del profesor, respuesta del alumno, evaluación); debate profesor-alumnos: cuestionamiento de alumnos; dúo profesor-alumno y diálogo verdadero.

Por otro lado, tanto en el monólogo como en el diálogo se utilizan distintas estrategias de presentación y utilización del patrón temático, las llamadas por Lemke estrategias de desarrollo temático. En el monólogo se pueden utilizar distintas estrategias como la Exposición lógica, la Narrativa con criterio cronológico y el Resumen final. En el diálogo se pueden usar: Secuencia de preguntas del profesor, Selección y modificación de respuestas, Recontextualización retroactiva y Construcción conjunta.

A través de estas estrategias el profesor presenta el patrón temático de relaciones entre distintos conceptos de distintas maneras con diferentes discursos y contextos, en los cuales se utiliza el mismo patrón temático. Pero para que los alumnos lo “hagan suyo” es necesario que lo verbalicen ya que el patrón temático se construye a través del lenguaje. No está formado por ideas puras que existen en las mentes, sino que se hace presente mediante la verbalización. Así lo señala Sutton (2003) con las siguientes palabras: ... *cuando un área del pensamiento científico*

es nueva, el papel interpretativo del lenguaje es central. Nosotros podemos añadir que cuando los alumnos están aprendiendo nuevos contenidos, el pensamiento científico sobre los mismos es nuevo para ellos, por lo que el papel del lenguaje es fundamental.

¿Cómo intentamos los profesores que los alumnos aprendan ciencia?

En una primera fase intentamos que los alumnos en las aulas aprendan ciencia básicamente:

- escuchando las explicaciones y repeticiones del profesor, y las intervenciones, preguntas o dudas de otros compañeros,
- y leyendo en libros de texto u otras fuentes de información.

Pero, escuchar y leer no son procesos suficientes, aunque sí necesarios, para aprender ciencia. Como decíamos al principio hay que verbalizar, hablando o escribiendo, lo aprendido para ir caminando hacia su significado total (Sanmartí, Izquierdo y García, 1999). Al hacerlo “tangible” para uno y para los demás, mediante el lenguaje, es posible saber o evaluar si se ha alcanzado el patrón temático deseado científicamente. Lograr este resultado deseado no es un proceso fácil, porque en primer lugar lo que escuchamos o leemos se debe ajustar a algún patrón temático conocido (dar sentido a cualquier cosa significa de alguna manera vincularla con alguna otra cosa que hemos escuchado antes), con el que se debe relacionar o integrar, para luego generar si es necesario un nuevo patrón temático, correlacionado con el existente evocado. Es decir, los alumnos al mismo tiempo que escuchan o leen, van comparando e interrelacionando la información recibida con lo aprendido en distintas asignaturas, en distintos cursos y fuera de la escuela, para lograr ampliar un patrón temático ya existente o crear uno nuevo; y, sobre todo, materializarlo mediante el lenguaje en frases.

Para aclarar lo que queremos decir, imaginemos lo que nos ocurre cuando oímos hablar o leemos por primera vez sobre un tema totalmente desconocido. El porcentaje de captación del “mensaje” depende de las características personales, pero podemos asegurar que en ningún caso es del 100%. En ocasiones existen términos o conceptos desconocidos, y otras con todos ellos conocidos, lo que dificulta la comprensión es el desconocimiento de las relaciones semánticas existentes entre ellos. E incluso el porcentaje de comprensión puede ser menor si tenemos en cuenta las distintas interpretaciones que se pueden dar a lo oído o leído. Este porcentaje va aumentando a medida que volvemos oír hablar o leer sobre el tema y se va acercando al nivel deseado cuando lo discutimos o se lo explicamos a alguien. Más veces verbalizado, mejor comprendido. Si después de un primer atisbo de comprensión tratamos de verbalizarlo, nos damos cuenta de que no es tan fácil como pensábamos.

Cuando los alumnos oyen por primera vez una explicación en clase y creen comprenderla, sólo están percibiendo la punta del iceberg. Llegar al fondo del mismo exige sumergirse en profundidad en el conocimiento y ello no es posible sin los materiales adecuados. Usando la metáfora de la inmersión, el lenguaje sería las bombonas de aire comprimido. Y los alumnos tienen que aprender a utilizar estos materiales y para ello necesitan tiempo y sobre todo usarlos en distintos contextos. El aprendizaje es un proceso lento, en el que normalmente no sirven los atajos. Después de un estudio, a lo largo de un cierto tiempo, de transcripciones de diálogos profesor-alumnos y entre alumnos Mercer (2008) indica que la relación entre tiempo, lenguaje y aprendizaje es intrínsecamente importante en la educación y que debería ser objeto de más investigación.

¿Qué podemos hacer los profesores en el aula?

Para poder responder a esta pregunta, tal vez sea necesario primero hacernos otra: ¿qué queremos de los alumnos?

En una secuencia de niveles de comprensión, deseamos que los alumnos:

- No repitan las palabras (términos, definiciones, ...) mecánicamente.
- Sean capaces de construir los significados esenciales de los términos científicos con sus propias palabras o ligeramente diferentes según la situación: comprensión del vocabulario científico.
- Aprendan a combinar los significados de los distintos términos según las formas aceptadas en el hablar científico, en diferentes situaciones: elaboración de patrones temáticos.
- En definitiva, hablen, escriban y razonen sobre el conocimiento científico.

Sin embargo, no siempre les enseñamos a hablar científicamente; no les damos muchas oportunidades para hablar ciencia: elaborar frases y párrafos científicos; combinar términos y significados; argumentar, analizar o escribir en idioma científico. En general, muchos profesores no dedicamos mucho tiempo a enseñar esas relaciones semánticas entre los conceptos; a veces sólo en la introducción del tema y al hacer un repaso o resumen; el resto del tiempo utilizamos las relaciones semánticas y en muchas ocasiones de un modo muy sutil (Lemke, 1997).

Bleicher, Tobin y McRobbie (2003) graban en video y analizan en profundidad el discurso de un profesor sobre electroquímica para alumnos en el curso anterior a la universidad, poniendo el foco de atención en las oportunidades que los alumnos tienen para hablar ciencia y concluyen *que los alumnos tuvieron muy poco tiempo para preguntar o exponer nuevas ideas ... Cuando el profesor hace preguntas a los alumnos busca respuestas correctas y rápidas para volver de nuevo a su discurso.*

Además, los alumnos tienen dificultad para captar las relaciones semánticas, porque en muchas ocasiones los profesores no nos detenemos a hacerlas explícitas, damos por obvias o sabidas cuestiones que no están claras en las mentes de los alumnos. También utilizamos distintos patrones temáticos sin decirlo explícitamente; por ejemplo, pasamos del mundo macroscópico al atómico/subatómico, o del ámbito fenomenológico al teórico. Mitchell (2010) y Barnes (2008) señalan que las estrategias que los profesores establecemos en las clases para potenciar el dialogo en las clases son las que determinan el grado de aprendizaje que logren los alumnos. Barnes (2010) indica que el lenguaje *exploratorio* de los alumnos en el momento en que están tratando de dar significado a un nuevo conocimiento es fundamental para alcanzar este significado. Este lenguaje *exploratorio* es confuso, balbuceante, de búsqueda de significados, pero sin este primer lenguaje no es posible lograr un verdadero aprendizaje. Los profesores debemos potenciar que los alumnos sean capaces de expresar este lenguaje exploratorio.

En consecuencia, debemos utilizar estrategias y actividades que les den oportunidades para expresarse, para elaborar los patrones temáticos, en definitiva, les debemos enseñar a hablar y escribir ciencia. Para ello podemos utilizar las siguientes estrategias:

- Uso de mapas conceptuales.
- Indagación experimental.
- Explicaciones de los alumnos en la resolución de ejercicios o problemas.

- Otras estrategias (Potenciar que estudien escribiendo, no sólo haciendo esquemas; Revisión de los apuntes tomados en clase; ...)

Veamos algunas de estas estrategias con algo de detalle.

Uso de mapas conceptuales

Los mapas conceptuales se utilizan en el aula desde hace ya algunos años. Fueron propuestos por Novak, Gowin y Johansen (1983), como desarrollo de la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (1968). Estos mapas facilitan la elaboración del patrón temático, ya que tienen como finalidad la búsqueda de relaciones entre conceptos mediante enlaces y proposiciones. Es un primer paso en la elaboración de *su* lenguaje de la ciencia, ya que son los alumnos los que deben buscar estos elementos. Además les permiten visualizar en un papel su mapa de relaciones semánticas, es decir, su patrón temático.

En la actualidad, muchos libros de texto incluyen mapas conceptuales al final de cada unidad didáctica, en algunos casos ya realizados para que los alumnos visualicen las relaciones semánticas y en otros incompletos para que los alumnos rellenen los enlaces y las proposiciones. Es una buena manera de empezar, pero habría que tender a que los alumnos se enfrenten a un papel en blanco, donde deban plasmar su patrón temático.

Indagación experimental

Con la indagación experimental queremos incidir, como ya se ha dicho reiteradamente en la literatura (Abd-El-Khalick, et al., 2004; Jiménez-Aleixandre y Díaz Bustamante, 2003), en que el trabajo experimental no sólo es trabajo manipulativo, sino que conlleva procedimientos más fundamentales e importantes que la simple manipulación, como son la formulación de hipótesis, el diseño experimental, la presentación e interpretación de los resultados, la elaboración y argumentación de conclusiones y, sobre todo y más importante porque es el inicio de todo trabajo experimental, la formulación de la pregunta o problema al que se quiere dar respuesta con el trabajo experimental. Para la realización de todos estos procesos es necesario que los alumnos hablen ciencia, que debatan entre ellos y con el profesor, que sean capaces de verbalizar qué problema tienen, cómo van a resolverlo, a qué solución han llegado y que argumenten si sus resultados están de acuerdo con algún modelo o teoría científica. Los guiones o recetas de laboratorio no sirven para lograr estos objetivos. Es preciso revisar el tiempo dedicado a una experiencia de laboratorio, que normalmente suele ser una sesión, en la que los alumnos normalmente sólo manipulan. Deberían dedicarse al menos dos sesiones a cada experiencia. Una primera en la que los alumnos formulen la cuestión a la que pueden responder con su trabajo experimental, elaboren hipótesis, diseñen la experiencia y la tabla de recogida de resultados. De esta manera, ya están preparados para realizar la manipulación experimental con el objetivo de recoger datos, que lo hacen en una segunda sesión. Fundamental es la existencia de una tercera sesión para discutir, interpretar resultados y argumentar a la luz de la teoría o modelo científico; que puede realizar el profesor titular en el aula, sin necesidad de utilizar una hora de desdoble de laboratorio. De este modo, nuestros resultados han mejorado sustancialmente: los informes de laboratorio de los alumnos han ganado en calidad y profundidad en el conocimiento científico (Sevilla y Martín-Díaz, manuscrito en preparación).

Ejemplos de lo que decimos los podemos encontrar en la conversión de la ecuación fundamental de la hidrostática en una pequeña investigación para cuarto curso de la ESO (Gómez Crespo, Gutiérrez Julián y Martín-Díaz, 2008). Empezamos preguntando a los alumnos si existe presión en el interior de un líquido (una piscina o el mar) y qué evidencia o qué hechos tienen para argumentar su respuesta. A continuación les planteamos que

enumeren variables de las que depende la presión en el interior de los fluidos o, más concretamente, en el interior del agua. Sin mucha dificultad los alumnos señalan tres variables: la profundidad, la densidad y la “cantidad” de agua. En caso de que exista alguna dificultad se les puede ayudar con algunas preguntas como por ejemplo qué diferencias existen, en el tema de estudio, entre el agua de una piscina y el agua del mar e, incluso, el agua de un mar tan salado como el Mar Muerto. Es muy interesante escuchar a los alumnos debatir sobre el caso de la tercera variable señalada, si a una misma profundidad en una piscina pequeña y en una piscina olímpica, existe una presión menor, igual o mayor. También aparecen otras variables como la temperatura o la superficie horizontal del objeto sumergido en el fluido.

Una vez que todos los alumnos han apuntado en sus cuadernos sus hipótesis, se les presentan los materiales con los que van a trabajar: un manómetro, varias probetas de distintos tamaños, agua, alcohol, agua con una alta concentración de sal y papel milimetrado; y se les pide que diseñen con máximo detalle cómo van a probar sus hipótesis. A continuación tienen que elaborar tablas en las que van a recoger los datos, señalando siempre la variable dependiente, la variable independiente y las variables que se están controlando, como por ejemplo las que se citan en el cuadro 1:

Cuadro 1. Control de variables en el análisis experimental de la ecuación fundamental de la hidrostática.

Dependencia con la profundidad
<i>Variable independiente: profundidad</i>
Aparato de medida: papel milimetrado.
Unidad: cm o m
<i>Variable dependiente: presión</i>
Aparato de medida: manómetro.
Unidad: mm H ₂ O
<i>Variables controladas:</i>
Densidad (mismo líquido).
Misma cantidad de líquido (misma probeta)

Posteriormente realizan las medidas, toman los datos y hacen representaciones gráficas, como se puede ver en la figura 1.

Finalmente analizan las hipótesis a la luz de los resultados, obtienen conclusiones y hacen predicciones contestando a las siguientes preguntas:

- ¿Cuánto aumenta la presión a medida que un submarinista se sumerge en el mar?
- ¿A qué presión debe estar el aire de las botellas de un submarinista?
- ¿En qué animal debe bombear el corazón la sangre con mayor presión? ¿Por qué?
- ¿Por qué los tubos de suero salino para un enfermo deben colocarse a una determinada altura?
- ¿Por qué ahora en las extracciones de sangre se utilizan tubos en los que se ha hecho previamente el vacío?

Cualquier experiencia de laboratorio puede convertirse en un espacio para debatir, discutir, establecer diálogos, en fin para hablar ciencia. Así lo podemos ver en Martín-Díaz (2011a), donde alumnos de tercero de la ESO tratan de responder experimentalmente a la pregunta: ¿Se conserva la masa y el volumen al hacer una disolución? La primera reflexión y el primer debate se crean en torno al concepto conservación.

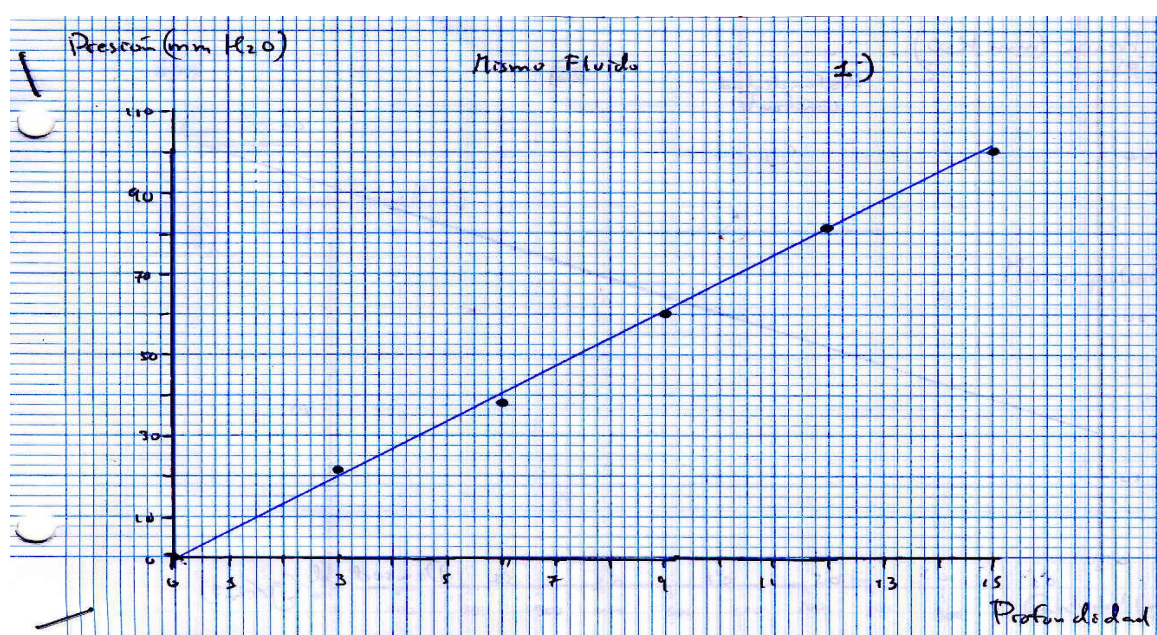


Figura 1. Representación gráfica realizada por un alumno en el estudio de la ecuación fundamental de la hidrostática.

Aunque lo primero de todo es enseñarlos a investigar y para ello tienen que hablar, verbalizar su pensamiento. Gómez Crespo et al. (2008) nos muestran cómo hacerlo, comenzando por ¿qué es lo que queremos investigar?, ¿cuál es la pregunta? Y una vez que la tenemos: ¿cómo lo hacemos para dar respuesta a la pregunta?

Explicaciones en la resolución de ejercicios o problemas

Las explicaciones en la resolución de los ejercicios o problemas constituyen una estrategia fundamental para que los alumnos hablen ciencia. Como decía al principio las respuestas a las preguntas de los exámenes son escuálidas, parece que les cuesta trabajo escribir. Debemos exigirles que expliquen los problemas, tal y como parecen los ejercicios resueltos en los libros de texto. Es vital sobre todo en las asignaturas de física y de química, donde todo lo reducen a la aplicación de una y varias fórmulas, sin saber su contexto de utilización (sistema, condiciones,...) ni su significado físico. Tienen que hablar y escribir ciencia para aprender ciencia.

Veámoslo con un ejemplo. Presentamos la resolución a un mismo ejercicio en un examen por tres alumnos.

El ejercicio es uno típico de cinemática de cuarto curso de la ESO:

Se deja caer un objeto desde un globo que sube con una velocidad constante de 12 m/s cuando el globo se encuentra a 25 del suelo. Calcula el tiempo que tardará en caer al fondo de un pozo que tiene una profundidad de 8 m. Calcula la velocidad con la que llegará al fondo del pozo.

Las respuestas de dos alumnos las podemos ver en las figuras 2 y 3. En la primera observamos las explicaciones que hace una alumna a cada uno de los pasos de resolución del ejercicio, que demuestran su lógica de pensamiento a lo largo de la misma. En la segunda, vemos que el alumno comienza con unas breves frases explicativas (*Es un movimiento uniformemente acelerado, Ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado, Tramo de subida del objeto*), pero luego sólo presenta el desarrollo matemático, que realiza adecuadamente, por lo que hay que adivinar su línea de pensamiento. Una resolución más sencilla del problema se ve en el

caso de la figura 4, donde las explicaciones son muy exiguas, casi inexistentes, y la resolución correcta es más corta que en los casos anteriores, pero nos quedamos sin saber claramente si el alumno ha trabajado mecánicamente o comprende los distintos pasos en su resolución.

es un m.v.a.

$v = a \cdot t + v_0$ $v = -10 \text{ m/s}^2 \cdot t + 12 \text{ m/s}$

$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ $s = 33 \text{ m} + 12 \text{ m/s} \cdot t + (-5 \text{ m/s}^2) \cdot t^2$

Si el espacio en el que se encontrará cuando llegue al fondo es 0 m y el inicial son 33 m.

$0 = 33 \text{ m} + 12 \text{ m/s} \cdot t - 5 \text{ m/s}^2 \cdot t^2$

$0 = -5t^2 + 12t + 33$

$0 = 5t^2 - 12t - 33$

Primero voy a hallar el tiempo que tarda en la subida. Es decir, hasta que su velocidad es 0 m/s.

$0 \text{ m/s} = -10t + 12 \text{ m/s}$

$\frac{-12 \text{ m/s}}{-10 \text{ m/s}^2} = t = 1,2 \text{ s}$

Y sabiendo este dato voy a utilizar la ecuación de la posición para hallar cuánto recorre en la subida.

$s = 33 \text{ m} + 12 \cdot 1,2 + \frac{1}{2} \cdot (-10) \cdot 1,44$

$s = 33 \text{ m} + 14,4 \text{ m} - 7,2 \text{ m}$

$s = 40,2 \text{ m}$ desde el sistema de referencia, sabiendo que el globo se encontraba a 33 m, desde el globo su subida es: $40,2 \text{ m} - 33 \text{ m} = 7,2 \text{ m}$

La bajada serán esos 7,2 m más la distancia entre el globo y el fondo del pozo.

$7,2 + 33 = 40,2 \text{ m}$

Con este dato podemos calcular el tiempo que tarda en bajar: (tomado como p. inicial los 40,2 m de la distancia máxima entre el objeto y el fondo) (ya la $v_0 = 0 \text{ m/s}$)

$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

$0 = 40,2 \text{ m} + 0 \text{ m/s} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot (-10 \text{ m/s}^2) \cdot t^2$

$0 = 40,2 - 5 \text{ m/s}^2 \cdot t^2$

$-40,2 = -5 \text{ m/s}^2 \cdot t^2$

$\frac{-40,2}{-5 \text{ m/s}^2} = t^2$

$8,04 \text{ s}^2 = t^2 \rightarrow t = \sqrt{8,04 \text{ s}^2} = 2,83 \text{ s}$

Y sabiendo este dato podemos hallar el tiempo que tarda en hacer todo el movimiento.

$t_{\text{subida}} + t_{\text{bajada}} = t_{\text{total}}$

$1,2 \text{ s} + 2,83 \text{ s} = 4,03 \text{ s}$

Y sabiendo esto utilizamos la ecuación de la velocidad para conseguir la que tiene al llegar al fondo, es decir, al cabo de esos 4,03 s.

$v = a \cdot t + v_0$

$v = -10 \text{ m/s}^2 \cdot 4,03 \text{ s} + 12 \text{ m/s}$

$v = -40,3 \text{ m/s} + 12 \text{ m/s}$

$v = -28,3 \text{ m/s}$ (es negativo porque el móvil va hacia abajo)

Figura 2. Respuesta 1 al ejercicio de cinemática de 4º de la ESO.

Los alumnos se resisten a explicar los ejercicios y los problemas, no saben hacerlo, es preciso enseñarles, indicarles cuáles son las cuestiones importantes que deben reseñar en sus explicaciones, como el sistema físico o químico al que hace referencia el enunciado del ejercicio, las leyes o teorías que están utilizando, por qué pueden utilizarlas, qué magnitudes están calculando, si están trabajando con vectores o sus módulos, etc. Para que empiecen a realizar explicaciones, es necesario cuantificar su evaluación con un porcentaje de la nota total del ejercicio. Es conveniente que este porcentaje empiece en valores bajos en los primeros cursos de la ESO (5%) y vaya subiendo paulatinamente según se avanza en la educación secundaria, hasta alcanzar valores más altos (20%) en Bachillerato. Ya sabemos lo que no se evalúa, carece de importancia. Finalmente, los alumnos acaban no sólo aceptando esta estrategia, sino valorándola muy positivamente.

ANS

25m

12 m/s

-9.8 m/s^2

$g = -9.8 \text{ m/s}^2$

Es un movimiento uniformemente acelerado

Es un movimiento uniformemente acelerado

Poso

-8m

Tras la salida del objeto.

$V = 12 \text{ m/s} - 9.8 \text{ m/s}^2 \cdot t$

$0 = 12 \text{ m/s} - 9.8 \text{ m/s}^2 \cdot t$

$t = \frac{12 \text{ m/s}}{9.8 \text{ m/s}^2} = 1.22 \text{ s}$

$S = 25 \text{ m} + 12 \text{ m/s} \cdot 1.22 \text{ s} - 4.9 \text{ m/s}^2 \cdot (1.22 \text{ s})^2$

$S = 25 \text{ m} + 14.64 - 7.29$

$S = 32.35$

$\Delta S = S - S_0$, $S = 32.35$, $S_0 = 25 \text{ m}$

$\Delta S = 7.35 \text{ m}$

$V = V_0 + a \cdot t$, $V = 12 \text{ m/s} - 9.8 \text{ m/s}^2 \cdot 2.22 \text{ s}$

$V = -28.02 \text{ m/s}$

$S = 32.35 + 11.2 \cdot t^2$

$S = 32.35 - 4.9 \cdot t^2$

$-8 = 32.35 - 4.9 \cdot t^2$

$-40.35 = -4.9 \cdot t^2$

$t^2 = \frac{-40.35}{-4.9}$

$t^2 = 8.23$, $t = \sqrt{8.23}$

$t = 2.86$

Explicación

0.15

Figura 3. Respuesta 2 al ejercicio de cinemática de 4º de la ESO.

Es un m.v.a. porque tiene una aceleración constante

Ecuaciones

$$\begin{cases} V = at + V_0 \\ S = S_0 + V_0 t + \frac{1}{2} at^2 \end{cases} \quad \begin{cases} V = -10 \text{ m/s}^2 t + 12 \text{ m/s} \\ S = 33 \text{ m} + 12 \text{ m/s} t - 5 \text{ m/s}^2 t^2 \end{cases}$$

Para hallar el tiempo:

$$0 = 33 + 12t - 5(t)^2$$

$$0 = -5t^2 + 12t + 33$$

$$5t^2 - 12t - 33 = 0$$

$$t = \frac{12 \pm \sqrt{144 + 660}}{10} = \frac{12 \pm 28.35}{10}$$

Eliminamos el 2º resultado porque no hay tiempo negativo.
- Toma 4.03s en caer al piso.

Para hallar la velocidad:

$$V = at + V_0$$

$$V = -10(4.03) + 12$$

$$V = -40.3 + 12$$

$$V = -28.3$$

Al no poder ser negativo, la velocidad es de 28.3 m/s.
Ha sido negativo por tener el S ref en el suelo.

Figura 4. Respuesta 3 al ejercicio de cinemática de 4º de la ESO.

Otro ejemplo se puede ver en la figura 5, en este caso se trata de un problema de 2º de Bachillerato:

Se libera desde el reposo un protón en un campo eléctrico uniforme de intensidad $6 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ dirigido a lo largo del eje X en sentido positivo. El protón se desplaza una distancia de 0,40 m en la dirección y sentido del campo. Calcula:

la diferencia de potencial que ha experimentado el protón en el desplazamiento indicado,

la variación de la energía potencial,

la velocidad del protón al final de los 0,40 m recorridos.

Datos: carga del electrón = $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; masa del protón = $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

(3) A.75 $E = cte = 6 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$; $\vec{E} = E \cdot \vec{i}$; $\Delta r = 0.40 \text{ m}$ en dirección y sentido de \vec{E} .

$q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m = 1.6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

a) ΔV b) ΔE_p c) V_p en r_2 (tras el recorrido).

Aplicaremos la relación entre potencial e intensidad de campo para el campo eléctrico: $\vec{E} \cdot d\vec{r} = -dV$; $|\vec{E}| = -\frac{dV}{dr}$

Como \vec{E} es cte, podemos afirmar que $|\vec{E}| = -\frac{\Delta V}{\Delta r}$. ¡otro!

El signo menos indica que el potencial aumenta en sentido contrario a la dirección del campo. Tendremos en cuenta esto al final. Lo mismo haremos con la dirección y el sentido, por lo que trabajamos en módulos: $E = \frac{\Delta V}{\Delta r}$

Se ve que lo entondy bien.

a) $\Delta V = E \cdot \Delta r = 6 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1} \cdot 0.4 \text{ m} = -2400 \text{ V}$. ¡otro!

Como el mov. es espontáneo y no aplica energía, el protón capta y va hacia potenciales decrecientes; $\Delta V = -2400$

b) Conociendo la definición de potencial (energía potencial por unidad de carga positiva) se deduce que $\Delta V = \Delta E_p / q$,

por lo que $\Delta E_p = -2400 \text{ J}$

Dibujo

El diagrama muestra un campo eléctrico \vec{E} representado por flechas horizontales dirigidas a la derecha. Un protón, representado por un círculo con una flecha hacia la derecha, se mueve a lo largo de una línea horizontal. A la izquierda del protón se indica 'Pot. cre.' (potencial creciente) y a la derecha 'Pot. dec.' (potencial decreciente). La distancia recorrida por el protón está etiquetada como Δr .

Figura 5. Respuesta a un ejercicio de Física de 2º curso de Bachillerato.

Otras estrategias

Respecto a los dos últimos puntos: El potenciar que estudien escribiendo, no sólo haciendo esquemas y la revisión de los apuntes tomados en clase, la propuesta no es una tarea fácil para nosotros teniendo en cuenta la ratio alumnos/profesor que no nos permite hacer una enseñanza tan individualizada como nos gustaría, pero sí podemos mostrar a los alumnos la importancia de escribir lo que se dice o se debate en clase y no sólo lo que aparece o se plasma en la pizarra, cuando toman apuntes. Un tipo de actividad interesante en este sentido es darles cualquier ejercicio o problema resuelto matemáticamente pero sin ningún tipo de explicación y solicitarles que escriban estas explicaciones (Martín Díaz, 2011b). Sus apuntes suelen ser como la resolución del problema que nosotros le ofrecemos. Ni una palabra, sólo números y fórmulas. Otra estrategia que podemos utilizar en una actividad tipo monólogo, bien sea una explicación teórica o la resolución de un ejercicio, es “quedarnos mudos”, es decir, escribir lo que normalmente escribimos pero sin decir ni una sola palabra. De esto modo, les mostramos lo que generalmente son sus apuntes o la resolución de sus ejercicios o problemas.

Para terminar, debemos de tratar de evitar las obviedades: en ocasiones, damos cuestiones por obvias como por ejemplo la descripción de una tabla y cuando pedimos a los alumnos que describan lo que están viendo, es decir, que hablen ciencia, nos damos cuenta de que la obviedad no es para todos. Veámoslo con una pregunta de un examen de Ciencias del Mundo Contemporáneo de primer curso de Bachillerato:

Describe el significado de las distintas columnas de esta tabla y pon un título a la misma. ¿Qué significa rendimiento?

Metal	Energía consumida (10^6 kilojulios/tonelada (kJ/ton))			
	En la obtención del metal a partir de minerales			En la obtención del metal a partir de chatarra
	Proceso real	Proceso teórico	Rendimiento del proceso real (%)	
Titanio	378	16,9	4,5	--
Magnesio	357	21,2		11
Aluminio	208	26,6		13
Níquel	94	3,3		16
Cobre	51	1,9		19
Zinc	51	4,4		19
Acero (aleación)	23	6,0		14
Plomo	19	0,8		11

(Tabla tomada de Cañas, Martín-Díaz y Níeda, 2006, Proyectos de CMC, Oxford)

Veamos algunas respuestas de los alumnos:

³⁵₁₇ Esta tabla explica el tanto por ciento en metales que se obtiene en la extracción de minerales mediante cationes

³⁵₁₇ En las tres columnas siguientes explica el proceso real de cada mineral, el proceso teórico que debería dar que dividiendo entre el proceso teórico entre el proceso real ...

³⁵₁₇ Rendimiento es todo lo que ha abarcado y la energía consumida de la obtención del metal.

³⁵₁₇ El rendimiento es cuando se le aplica a un metal para sacarle del mineral la parte que nos interesa.

³⁵₁₇ El rendimiento es la cantidad de energía que se gastaría si el total fuera 100.

Lo que queremos señalar con estas respuestas es que los alumnos escriben frases que carecen de significado, que no tienen ningún sentido y consecuentemente es difícil que contesten a otras preguntas sobre la tabla, si no son capaces de pasar a lenguaje oral lo que se les presenta en lenguaje gráfico. Es decir, es difícil que sigan la explicación de una clase cuando se encuentran perdidos en las fases previas, que para nosotros son obvias, y a las que, por tanto, apenas si dedicamos tiempo. Una forma de dar solución a esto es pedirles que describan lo que acabamos de escribir en la pizarra o poner en una pizarra digital, que puede ser el principio de una explicación o de la resolución de un problema. Es una pieza clave en el aprendizaje que hablen.

Conclusiones

Nos gustaría terminar señalando la enorme importancia del lenguaje en el aprendizaje de las ciencias (Sanmartí, Izquierdo y García, 1999). El lenguaje es el vehículo de la comunicación y un paso fundamental en la estructuración del pensamiento, absolutamente necesaria para el aprendizaje, para la comprensión de cualquier tipo de problema. Hablando o escribiendo ciencia, se aprende ciencia, se logra la competencia científica, se utiliza el conocimiento científico. En un interesante artículo, Mercer (2002) va, incluso, más lejos, al señalar que el lenguaje es una herramienta para el pensamiento y que debería ser un primer objetivo de la educación enseñar a los alumnos a utilizar el lenguaje como instrumento para desarrollar el pensamiento. Señala que se debe considerar la enseñanza que tiene lugar en un aula como un proceso de diálogo. En esta misma línea, Osborne (2010) presenta una revisión sobre el papel del debate y la argumentación en el aprendizaje de la ciencia y concluye que los diálogos entre alumnos mejoran la profundidad de su pensamiento y su propio aprendizaje.

¿Y cuál es la respuesta de los alumnos? Depende de las estrategias, pero en general, en principio de sorpresa y en algunas ocasiones de rechazo, como la explicación de problemas y ejercicios en los exámenes, pero finalmente de satisfacción. Cuando en una sesión de laboratorio se les dice a los alumnos que no van a manipular, sino que van a pensar y a hablar, te miran con extrañeza y parece que se encuentran perdidos, pero a medida que avanza el curso se empiezan a sentir cómodos e, incluso, a rechazar la manipulación en el laboratorio sin unos procesos previo y final de discusión de hipótesis, resultados y conclusiones. Como ya hemos dicho, los informes de laboratorio mejoran sustancialmente. A la estrategia de tener que explicar ejercicios y problemas en los exámenes, como ya hemos dicho, los alumnos ponen resistencia y, sobre todo, la ponen a que estas explicaciones sean calificadas, pero finalmente reconocen, aunque no todos, que este hecho ha merecido la pena, que su comprensión de los conocimientos científicos ha mejorado cualitativamente, y algunos llegan a decir que ya no son capaces de hacer ejercicios o problemas sin acompañar la resolución de una explicación. Esta estrategia, como todas, tiene que ser enseñada previamente. Otras estrategias que utilizamos en el aula, para que los alumnos hablen ciencia, son, por ejemplo, que los alumnos expliquen el procedimiento que han utilizado en la resolución de un ejercicio desde su sitio “sin salir a la pizarra”, es decir, utilizando sólo el lenguaje oral; o bien que el profesor resuelva numéricamente un ejercicio o problema sin decir una sola palabra y la tarea de los alumnos es escribir la explicación de dicha resolución. En la actualidad, estamos elaborando un cuestionario y entrevistas con los alumnos que nos permitan valorar de una manera cuantificable la influencia de estas estrategias en el aprendizaje y motivación de los alumnos.

El dar oportunidades a los alumnos para hablar ciencia en las aulas no exige grandes cambios metodológicos sino cambios de actitudes o de enfoques por parte del profesorado en las tareas que hacemos cotidianamente en el aula. Se trata de ir transformando en algunos aspectos nuestras actividades cotidianas para dar cabida a que los alumnos puedan verbalizar sus conocimientos.

Referencias

- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S.; Duschl, R.; Lederman; N.G.; Mamlok-Naaman, R.; Hofstein; A.; Niaz, A; Treagust; D. y Tuan, H. (2004). Inquiry in Science Education: International Perspectives. *International Journal of Science Education*, 38 (3), 397-419.
- Ausubel, D. (1968). *Educational Psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart y Winston.

- Bacas, P., Martín-Díaz, M.J., Perera, F. y Pizarro, A. (1993). *Física y Ciencia Ficción*. Madrid: Ediciones Akal.
- Barnes, D. (2013, 24 mayo). Exploratory talk for learning. En Mercer y Hodgkinson (Ed.) *Exploring talk in school*, (pp. 1-15). London: SAGE Publications Ltd. [En línea]
- Bleicher, R.E., Tobin K.B. y McRobbie, C.J. (2003). Opportunities to talk science in a high school chemistry classroom. *Research in Science Education*, 33, 319-339.
- Chomsky, N. (1957). *Estructuras sintácticas*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Gómez Crespo, M.A, Gutiérrez Julián, M.S. y Martín-Díaz, M.J. (2008). “Nuevas tendencias en Física y Química”. Aula virtual de Formación del Profesorado. Educamadrid. Curso presencial y posteriormente on-line (hasta 2012-13).
- Feynman, R. (1987). *¿Está usted de broma Sr. Feynman?* Madrid: Alianza Editorial.
- Edelman, G.M. y Tononi, G. (2002). *El universo de la conciencia*. Barcelona: Editorial Crítica S.L.
- Jiménez Aleixandre, M.P. y Díaz de Bustamante, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 21 (3), 359-370.
- Kempa, R.F. y Nicholls, C.E (1983). Problem solving ability and cognitive structure in exploratory investigation. *European Journal of Science Education*, 5(92), 177-184.
- Kempa, R.F. (1986). Resolución de problemas de química y estructura cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 99-110.
- Lemke, J.L. (2013, 24 mayo). *Aprender a hablar ciencia*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A. [En línea]
- Martín-Díaz, M.J. (2013, 24 mayo). Hablar ciencia en el laboratorio. En línea en: <http://videos.leer.es/home/leer-ciencias/secundaria/hablar-ciencia-en-el-laboratorio/>
- Martín-Díaz, M.J. (2013, 24 mayo). Los jarabes. En línea en: http://docentes.leer.es/files/2011/07/eso3_fq_al_losjarabes_mjesusmartin1.pdf
- Mercer, M. (2002). Developing dialogues, En Wells y Claxton (Ed.), *Learning for life in the 21st: Sociocultural perspectives on the future of education* (pp. 141-153). Oxford: Blackwell.
- Mercer, N. (2008). The seeds of time: why classroom dialogue needs a temporal analysis. *Journal of the Learning Sciences*, 17 (1), 33-59.
- Mitchell, I. (2010). The relationship between teacher behaviours and student talk in promoting quality learning in science classrooms. *Research in Science Education*, 40 (2), 171-186.
- Novak, J.D., Gowin, D.B. y Johansen, G. (1983). The use of concept mapping and knowledge vee mapping with junior high school science students. *Science Education*, 67 (5), 625-645.
- Osborne, J. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. *Science*, 328, 463-466.
- Sanmartí, N., Izquierdo, M. y García, P. (1999). Hablar y escribir: una condición para aprender ciencia. *Cuadernos de Pedagogía*, 281, 54-58.
- Sutton, C. (2013, 24 mayo). Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje, *Enseñanza de las ciencias*, 21 (1), 21-25. En línea en: <http://ddd.uab.es/pub/edlc/02124521v21n1p21.pdf>

Agradecimientos: Agradezco a Marisa Gutiérrez Julián y Miguel Gómez Crespo sus acertadas sugerencias y comentarios en la elaboración de este artículo.